BEITRAEGE ZUR ANATOMIE DER WIRBELSÄULE

Karl Heinrich von Bardeleben





BEITRAEGE

ZUR

ANATOMIE DER WIRBELSÄULE

VON

DR. KARL BARDELEBEN
PROSECTOR IN JENA.

MIT HOLZSCHNITTEN UND DREI PHOTOGRAPHISCHEN TAFELN.



JENA
HERMANN DABIS
(O. DEISTUNG'S BUCHHANDLUNG)
1874.




LANE
MEDICAL
LIBRARY
SEAL OF THE LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY
SEMPER VIRENS
1885



BEITRAEGE

ZUR

ANATOMIE DER WIRBELSÄUL

VON

DR. KARL BARDELEBEN
PROSECTOR IN JENA.

MIT HOLZSCHNITTEN UND DREI PHOTOGRAPHISCHEN TAFELN.



JENA
HERMANN DABIS
(O. DEISTUNG'S BUCHHANDLUNG)
1874.

Die schönen Entdeckungen von Hermann Meyer und Culmann in Zürich
Gebiete der Knochenarchitectonik erregten mein Interesse in so hohem Grade, dass de
in mir wach wurde, wenn möglich noch an der Erforschung dieses neuen Feldes der
Theil nehmen zu dürfen. Eine Umschau in der einschlagenden Literatur zeigte a
dass es kaum möglich sein würde, nach den Arbeiten von H. Meyer, Julius
Wolfermann u. A. noch etwas Neues zu finden. Auffallend erschien nur, dass
Wirbeln, also den morphologisch und physiologisch wichtigsten Theilen des Wirbelth
relativ wenig Beachtung geschenkt hatte. Das Wenige nun, was ich bei Wolfe
darüber fand, erschien mir weder erschöpfend, noch auch ganz richtig; es war n
unwahrscheinlich, dass der Wirbel, der doch schon äusserlich eine relativ complicirte Ge
zeigt, der ja so mannigfache statische Aufgaben hat, so ausserordentlich einfach geb
wie Wolfermann's Beschreibung und Figuren glauben lassen.

Einige zum Versuch angefertigte Schnitte bestätigten meine Vermuthung und veran
mich zu eingehenderen Untersuchungen, deren Resultate ich hier dem nachsichtigen
der Fachgenossen unterbreite. — Aeussere Verhältnisse, besonders eine lokale Veränd
der Thätigkeit haben die Arbeit sehr verzögert — und wiederum äussere Verhältnisse zw
mich, jetzt einen vorläufigen Abschluss zu machen. Eine detaillirte mathematisch-mecha
Analyse einiger Hauptpuncte gedenke ich späterhin zu veröffentlichen.

Eine Rundschau in der auf die Architectonik der Knochen, speciell des Wirbels bezüg lichen Literatur *) ergibt folgendes: Professor G. M. Humphry **) in Cambridge, der, wi hier hervorgehoben werden muss, überhaupt zuerst, nämlich bereits im Jahre 1858, au die gesetzmässige Anordnung der Spongiosa-Bälkchen aufmerksam gemacht und der auc schon damals die mechanische Bedeutung dieser Thatsache, wenn auch nicht in ihrem ganze Umfange, erkannt hat ***), — Humphry also sagt l. c. S. 137:

„The bodies of the vertebrae are composed of very light, spongy structure, which is surrounded by a thi wall of moderately compact tissue . . . The chief direction of their cancelli is vertical; in some parts it i more horizontal, as near the lower surface of the last lumbar vertebra. The cells of the cancellated tissu are wider in proportion as the bodies of the vertebrae are large."

Zaaijer †) in Leiden schreibt l. c. S. 10:

„De lamellen, die op verschillende doorsneden zich vertoonen, loopen meest recht van boven naa beneden en worden door dwarse plaatjes met elkander verbonden; deze laatste loopen boven e beneden evenwijdig aan de oppervlakte der lichamen, waardoor een zeer regelmatig netwerk ontstaat. He aantal plaatjes, dat met de boven — en benedenvlakte verbonden is, is vooral beneden grooter dan meer in he midden, waar het verloop minder regelmatig is en de mazen wijder zijn. Deze bijzonderheden zijn in d lendenwervels het duidelijkst. Op sagittale doorsneden, juist door of dicht bij de ruime vaatkanalen, waarva de openingen aan de achtervlakte der wervellichamen te vinden zijn, verliest de spongiosa dikwijls haar regel matig voorkomen en vertoont dan zeer onregelmatige, tamelijk groote lacunen. Op de grenzen der doorsnede (zoowel sagittaal als frontaal), waar de dunne vaste beenlaag, die de wervels omgeeft, naar binnen is uitgehold hebben de plaatjes eene eenigszins andere richting.

Die, welke van boven komen, loopen schuins naar beneden en buiten, en steunen daar op de dunne compact laag; die, welke van daar naar beneden loopen, hebben dikwijls een binnenwaartsche richting. Dwarse doorsnede vertoonen een zeer regelmatig maaswerk, waarin somtijds, vooral aan de oppervlakte, een radiaire rangschikkin met vergrooting der mazen valt op te merken. Op de plaats, waar de bogen van de lichamen afgaan ziet men de loodrechte plaatjes van de bovenvlakte zoowel als de horizontale van d benedenvlakte van richting veranderen, hetgeen vooral duidelijk is, wanneer de zaagsnede midde door de dikte van den boog gaat. — Beide stelsels convergeeren en versterken de compacte laa der bogen, die verder van binnen een onregelmatige sponsachtige massa vertoonen.

---

*) Herrn Prof. His in Leipzig sage ich an dieser Stelle meinen aufrichtigen Dank für die grosse Güte mit der er mir die betreffenden Schriften zur Verfügung stellte.

**) A treatise on the human skeleton. Cambridge. 1858.

***) l. c. S. 11: „It is interesting to observe the manner in which the cancelli are arranged near the extremities of the bones so that the direction of their plates is chiefly perpendicular to the articular surface and therefore in the line of the pressure the bone has to bear; thus affording the mos effective support."

†) De architectuur der beenderen. Separatabdruck aus der „Nederlandsch Tijdschrift voor Geneeskunde" Jahrgang 1871.

De architectuur der wervels wordt naar beneden toe duidelijker. In den tand van den tweeden halswervel ziet men nog geen duidelijk overlangs en dwars verloopende plaatjes, maar wel in de lager gelegen halswervels. Het heiligbeen vertoont, wat den loop der plaatjes betreft, dezelfde verhoudingen, maar de duidelijkheid neemt naar beneden toe af. In de heiligbeensvleugels is de richting der lamellen minder scherp geteekend; hier en daar meende ik een schuinsch verloop naar buiten en beneden te zien."

Wir werden weiter unten uns überzeugen, dass Zaaijer weit mehr gesehen hat, als alle übrigen Forscher auf diesem Gebiete, aber auch er hat nur Einzelheiten, und diese wol nicht immer ganz richtig, gesehen, ohne jedoch den gesetzmässigen Zusammenhang derselben zu finden. Er hätte sonst nicht nur einen frontalen, sondern vor Allem einen sagittalen Schnitt abgebildet. Es ist nicht anzunehmen, dass Wolfermann*) die Schrift von Zaaijer gekannt hat, wie er denn in der Einleitung (S. 5) nur von H. Meyer und J. Wolff als Arbeitern auf dem Felde der Knochen-Architectur spricht. Jedenfalls enthält die sonst, besonders durch Fülle von vergleichendem Material (u. A. vom Pferd, Rind, Bär, Lama, Hund, Schildkröte, Murmelthier) ausgezeichnete Arbeit in dem uns hier interessirenden Artikel „Wirbel" keinen nennenswerthen Fortschritt gegen Zaaijer.

Wolfermann sagt S. 24:

„An einem sagittalen Schnitt durch sämmtliche Wirbel des Menschen sehen wir zunächst im Wirbelkörper ein sehr schönes senkrechtes, der Längsaxe der Wirbelsäule parallel verlaufendes Plättchensystem, ferner das den ganzen Wirbelkörper durchsetzende, gegen die obere und untere Fläche zu schärfer hervortretende rechtwinklige System. Dieselbe Anordnung findet man auf dem sagittalen Schnitt durch die Wirbelkörper vom Rind und Bären, jedoch ist das rechtwinklige System bei weitem nicht so ausgebildet wie beim Menschen. Der frontale Schnitt zeigt wieder das Längssystem und parallel der obern und untern Fläche einige horizontal verlaufende Plättchne. Ebenso ist der Verlauf beim Bären und Rind. Auf dem horizontalen Durchschnitte erkennt man eine Anzahl concentrischer Ringe, dann von der Compacta der vorderen Fläche des Wirbelkanals ausstrahlende Plättchen, so dass eine Durchkreuzung resultirt, indem die von der einen hinteren Seite abgehenden nach der Peripherie der anderen Seite hinüberlaufen. In den processus transversi kreuzen sich vordere und hintere Plättchen; sehr schön ist diese Durchkreuzung im Processus spinosus des Bärenwirbels."

Wolfermann hat also, wie es hiernach scheint, weniger gesehen als Zaaijer, jedenfalls sind seine beiden Abbildungen l. c. 13 u. 14, welche frontal durchschnittene Lendenwirbel vom Bären und Menschen darstellen, von sehr auffallender Einfachheit und rechtwinkliger Regelmässigkeit.

Aeby sagt in einer Original-Mittheilung im Centralblatt für die medic. Wissenschaften (Jahrgang 1873, No. 50, S. 786): „Der Verlauf aller Bälkchen ist ein der Knochenachse paralleler. Beispiel: die Wirbelkörper des Menschen, die frontal und sagittal durchschnitten dasselbe Bild geben," — und im Correspondenz-Blatt für Schweizer Aerzte (Jahrgang 1874, No. 7, 1. April, S. 191): „Durchschnitt eines Wirbelkörpers (sagittal und frontal): die Spongiosa besteht aus einem doppelten, rechtwinklig gekreuzten Balkensystem."

*) Beitrag zur Kenntniss der Architectur der Knochen. Inaug.-Diss. (Von d. Fak. zu Bern z. Druck genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. Aeby). 1872. Auch in Du Bois-Reymond u. Reichert's Archiv, 1872, S. 312 ff. Mit Tafel XII.

Die auf Taf. I und II Fig. 1—22 abgebildeten Sagittalschnitte von der menschlichen Wirbelsäule fertigte ich auf der in der Leipziger anatomischen Anstalt befindlichen Drehbank, vermittelst der Kreissäge an. Zur Befestigung der Wirbel in der gewünschten Lage diente eine nach meiner Angabe von dem Mechaniker der Leipziger Anatomie, Herrn Gurlitt, hergestellte Vorrichtung, welche sich vermittelst zweier Schraubenzüge nach jeder beliebigen Richtung verschieben und in jeder Stellung fixiren liess. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Kreissäge war bei mittlerer Tretgeschwindigkeit ungefähr 400 in der Minute. Die übrigen Schnitte habe ich hier in Jena, wo mir keine Drehbank oder etwas Aehnliches zur Verfügung steht, aus freier Hand gesägt. — Die Schnitte, welche fast alle 1,0—1,2 mm. dick waren, wurden dann zunächst in Wasser gekocht und ausgepinselt, darauf mit Chloroform, Terpenthin oder Aether ausgezogen und mit verdünnter und concentrirter Javel'scher Lauge (unterchlorigsaurem Natrium) oder auch gleich nach dem Kochen in Wasser mit 10%iger Sodalösung gekocht, ausgepinselt und langsam getrocknet. Bei besonders hartnäckigem Widerstande der Weichtheile wandte ich zum Kochen ½—1%ige Kalilauge an. Vor concentrirteren alkalischen Laugen muss ich ganz entschieden warnen, sie zerstören zwar schnell und sicher die Weichtheile und geben daher oft schon in wenigen Minuten die schönsten Bilder, — aber sie greifen auch den Knochen, wenigstens dessen organische Bestandtheile, so stark an, dass die Schnitte nachher bei der leisesten Berührung, wie Mumien, zerfallen.

Die von mir verwandten Knochen waren theils ganz frisch, theils hatten sie schon Tage, auch Wochen an feuchten Orten gelegen. Es ist übrigens durchaus nicht gleichgültig, wie die Cadaver beschaffen sind, denen man die Knochen entnimmt; muskulöse verdienen den Vorzug vor muskelarmen, fettarme vor fettreichen, anämische vor vollblütigen, junge (aber nicht unter 25 Jahren!) vor alten, männliche vor weiblichen. Leider stehen aber selbst in grösseren Anstalten für einen bestimmten Zweck vorzugsweise brauchbare Cadaver immer nur in sehr geringer Zahl zur Verfügung. Auch die von mir zur Anfertigung der Taf. I u. II abgebildeten Sagittalschnitte gewählte Wirbelsäule eines kräftigen ca. 40 Jahr alten Mannes entsprach insofern nicht meinen Wünschen, als die Reinigung der Schnitte relativ grosse Schwierigkeiten machte. Hauptsächlich schien es anfangs unmöglich, die Knochensubstanz vollständig weiss darzustellen. Wie jeder Anatomiediener weiss, ist der Grad, bis zu dem dies möglich ist, individuell sehr verschieden, — manche Knochen widerstehen, wie ich dies wiederholt erfahren, selbst andauernder chemischer Bleichung auf das hartnäckigste. Am meisten kann ich empfehlen, die im Uebrigen vollständig gereinigten Schnitte zum Bleichen in kalte, mit gleichen Theilen Wasser verdünnte Javel'sche Lauge zu legen. Es genügt meist, sie 2—3 Tage liegen zu lassen — bei längerer Einwirkung werden die Schnitte leicht bröckelig. Nach der Herausnahme aus der Lauge empfiehlt es sich, die Schnitte noch etwas in Wasser stehen zu lassen.

I. Wirbel vom Menschen.

a. Wahre Wirbel.

1. Sagittalschnitte.

Die Fig. 1—22 auf Taf. I und II zeigen Sagittalschnitte durch die menschlichen Wirbel vom dritten Hals- bis letzten Lendenwirbel. Die Schnitte, welche sämmtlich von der rechten Seite ein und derselben Wirbelsäule herrühren, treffen alle den oberen proc. obliquus, das zwischen dessen Abgang und dem Körper liegende Stück Bogen (Hals) und den Wirbelkörper.

Die Schnitte wurden nicht alle mathematisch genau in sagittaler Richtung geführt, da es mir von Vortheil zu sein schien, dieselben möglichst in die Axe des Wirbelbogenhalses zu legen. Hierbei constatirte ich, dass die Bogen nur in dem mittleren Theile der Brust-Wirbelsäule genau in sagittaler Richtung aus dem Körper entspringen, während der Bogenhals in dem darüber gelegenen Theile der Wirbelsäule, also in den Halswirbeln und den ersten 4—5 Brustwirbeln eine nach aussen von der sagittalen abweichende Richtung hat, also nach hinten von der Medianebene und dem der anderen Seite divergirt. Diese Divergenz der Axen nimmt stetig ab bis zum 5.—6. Brustwirbel, wo sie gleich 0 wird, d. h. dort sind die beiden Axen parallel und sagittal. Dies bleiben sie bis zum 9. oder 10. Brustwirbel, wo die Divergenz negativ wird, — d. h. sie convergiren nach hinten und zwar in stetig zunehmendem Masse bis zum letzten Lendenwirbel.

Man sieht nun an den Schnitten folgendes. Von der Gelenkfläche des oberen proc. obliquus, senkrecht auf derselben stehend, strahlen Knochenbälkchen*) gegen die vordere Fläche und vorzugsweise das untere Bogen-Ende des proc. obliquus aus; dieselben machen ebenso, wie dieser Fortsatz selber, eine mehr oder weniger bedeutende Drehung in der Längsaxe durch; diese Drehung ist am beträchtlichsten in den Hals- und Lendenwirbeln, nimmt nach den Brustwirbeln hin ab, entsprechend der verschiedenen Stellung der Gelenkfläche zu der Richtung der Bogenhalsaxe (vgl. oben). Diese vom Gelenkfortsatz kommenden Knochenbälkchen gehen 0,7—1,2 mm. von einander entfernt **), untereinander parallel und durch rechtwinklig auf ihnen stehende Knochenplättchen verbunden, hinab zu der Gegend, wo der untere Rand des Bogenhalses den unteren Gelenkfortsatz entsendet.

---

*) Ich gebrauche überall die Ausdrücke Knochenbälkchen und Knochenplättchen vollständig synonym. Die Breite dieser Gebilde ist meist bedeutend im Vergleich zu ihrer Dicke. Trotzdem scheint mir der Ausdruck Knochenbälkchen mindestens ebenso berechtigt, wie der andere, bisher mehr gebrauchte — denn der Begriff Balken der Statik ist der allgemeinere und daher in allen uns interessirenden Fällen zutreffende.

**) Hier wie überall nenne ich Distanz der Knochenbälkchen die Entfernung der mathematischen Mittellinien der einzelnen Bälkchen von einander; es wird hierdurch die Methode der Messung, wenigstens bei senkrecht auf ihre grössere Begrenzungsfläche durchschnittenen Knochenplättchen (die im Schnitt als dünne Stäbchen erscheinen), sowie den von Natur stabförmigen, eine sehr einfache und sichere, da man nur, vorausgesetzt natürlich, dass die Distanzen, wie schon das Augenmass lehrt, dieselben sind, die Entfernung zweier weit von einander gelegenen Knochenbälkchen zu messen und die gefundene Grösse durch die Zahl der dazwischen liegenden Bälkchen — 1 zu dividiren braucht.

Dort angelangt stösst ein Theil derselben an dem lateralen Rande des Bogenhalses auf ein anderer Theil geht (die vordersten und hintersten Plättchen oft ganz dicht als „Compacta" dem Rande anliegend) in den Wirbelkörper hinein, wo sie in zwei Richtungen auseinanderweichen, indem die vorderen (meist an der Uebergangsstelle dicht aneinandergelegt, compacte Masse bildend) durch den oberen Theil des Wirbelkörpers verlaufen und sich, nicht weit über das obere Drittel der Höhe hinausgehend, bis zum vorderen Rande erstrecken. Das andere Bündel geht in ziemlich gleicher Richtung, meist in sanftem nach oben concavem Bogen, durch den Wirbelkörper und stösst an dessen unterer Fläche und unterem Rande auf. Endlich geht noch eine Partie von Knochenbälkchen direct vom oberen zum unteren proc. obliquus.

Ein zweites System von Knochenbälkchen entspricht dem eben beschriebenen insofern, als wir nur vor den Worten: Gelenkfortsatz, Fläche, Rand statt „ober" —: „unter" — und umgekehrt zu substituiren haben, — auch können wir uns, zunächst wenigstens bei den schräg-bogenförmig vom unteren proc. obliquus zum oberen Rande und oberer Fläche ziehenden Bälkchen des zweiten Systems die Richtung des Verlaufes entgegengesetzt denken, — was bei der uns unwillkürlich immer vorschwebenden aufrechten Haltung der menschlichen Wirbelsäule allerdings das näher liegende ist.

Die Symmetrie der beiden Systeme bezieht sich also auf eine in der Mitte zwischen oberer und unterer Wirbelkörperfläche gelegt gedachte Horizontalebene.

Die am oberen wie unteren Rande des Bogenhalses bei allen Wirbeln in die Augen fallenden Stellen von compacter Substanz nenne ich aus später zu erläuternden Gründen: Knotenpuncte, deren wir also in jedem Wirbel vier, auf jeder Seite zwei, einen oberen und einen unteren haben.

Dieselben sind sowohl in der Reihe der Wirbel als in ein und demselben Wirbel von ungleicher Grösse. Ich habe die Höhe derselben an möglichst vielen Sagittalschnitten, welche die Mitte des Bogenhalses getroffen hatten, gemessen und fand folgende Durchschnittszahlen:

Wirbel:	Knotenpuncte obere	Knotenpuncte untere	Sa.	Bogenhals	
Hals-	1,7	2,2	3,9	5,5	1 : 1,4
Obere Brust-	1,6	1,7	3,3	8,5	1 : 2,6
Untere Brust-	2,5	1,6	4,1	12,0	1 : 2,9
Lenden-	2,2	2,1	4,3	14,0	1 : 3,3
	a	b	c	d	e

Die Zahlen bedeuten Millimeter, Col. a enthält die Werthe für die oberen, b für die unteren Knotenpuncte, c = a + b, d die Höhe des Bogenhalses, endlich e das Verhältniss von c : d.

Characteristisch ist die bei allen Wirbeln wiederkehrende Form der Knotenpuncte, welche sich auf den Sagittalschnitten ungefähr halbmondförmig zeigen, dergestalt, dass der grössere Durchmesser der von vorn nach hinten gehende ist, während der kleinere senkrecht steht und mit der eben besprochenen Höhe identisch ist.

Obige Tabelle lehrt, dass die Knotenpuncte an den Halswirbeln sowohl im Verhältniss zu der Höhe des Bogenhalses, wie im Vergleich zu denen der anderen Wirbel relativ gross sind. Sie sind grösser, als die der oberen Brustwirbel, aber absolut kleiner als die der unteren Brust- und Lendenwirbel. Da nun die Höhe des Bogenhalses bei allen übrigen Wirbeln erheblich grösser ist, als an den Halswirbeln, so ist die verhältnissmässige Höhe der beiden Knotenpuncte zusammen, verglichen mit der Bogenhalshöhe, bei den Halswirbeln fast doppelt so gross, als bei den oberen Brustwirbeln (13 : 7), über doppelt so gross, als bei den unteren Brust- und den Lendenwirbeln (29 : 14 resp. 33 : 14).

Ausser den von den Knotenpuncten in oben angegebener Weise pinselförmig ausstrahlenden Knochenbälkchensystemen gewahren wir auf Sagittalschnitten im Allgemeinen senkrecht von der oberen zur unteren Wirbelkörperfläche verlaufende Plättchen, die im oberen und unteren Drittel des Wirbelkörpers von den vorigen, sowie von je einem Systeme ganz horizontal verlaufender gekreuzt werden, während sie im mittleren Drittel fast allein vorhanden sind. Die von der oberen zur unteren Fläche des Wirbelkörpers verlaufenden Plättchen ziehen theilweise ganz senkrecht, theilweise in leichtem Bogen dergestalt hinab, dass ihr Ende senkrecht unter dem Anfange liegt, einige wiederum verlaufen von Anfang an oder sehr bald darauf schräg nach unten, ohne senkrecht unter dem Anfangspuncte zu endigen. Mehrfache derartige Bälkchen geben dann das Bild eines spitzwinkligen Fachwerks. Meist vereinigen sich zwei oder drei an der Grenze des oberen und mittleren Drittels des Wirbelkörpers zu einem stärkeren (breiteren) Plättchen, um sich an der Grenze des mittleren und unteren Drittels wieder abzulösen, so dass die Zahl der auf die untere Fläche auftreffenden Bälkchen im Allgemeinen gleich ist derjenigen der von der oberen Fläche abgehenden. Die fast nur von mehrweniger senkrecht verlaufenden Knochenbälkchen eingenommene mittlere Region des Wirbelkörpers hat auf dem Sagittalschnitt ungefähr die Form eines gleichseitigen spitzwinkligen Dreiecks oder eines Trapezes, dessen Spitze resp. kleinere parallele Seite hinten in der Nähe der Knotenpuncte, dessen Basis vorn an der Vorderfläche des Wirbelkörpers gelegen ist. Dasselbe ist an den oberen Halswirbeln noch nicht deutlich sichtbar, an den unteren Halswirbeln ist es bereits angedeutet und wird dann, je weiter nach unten, desto deutlicher und grösser.

Die Distanz der senkrechten Bälkchen von einander im oberen und unteren Drittel des Wirbelkörpers beträgt an den Halswirbeln durchschnittlich 0,6 mm., an den oberen Brustwirbeln 0,7 mm., den unteren Brustwirbeln 0,75 mm., dem untersten Lendenwirbel 0,8 mm. Die absolute Differenz der Distanzen ist also eine sehr geringe: 0,6—0,8 mm., also 0,2 mm. zwischen oberen Hals- und untersten Lendenwirbeln. Der Vergrösserung der Wirbel nach

unten zu entspricht also nicht sowohl eine Vergrösserung als eine Vermehrung der in Folge Durchkreuzung von senkrechten und horizontalen Bälkchen gebildeten Maschen. Während sich der median-sagittale Durchmesser der Wirbel von 14 mm. auf 35 mm. (Henle, Handbuch der systematischen Anatomie des Menschen, I, 1, S. 31) erhebt, vermehrt sich die Anzahl der in dieser Ebene horizontal neben einander liegenden Maschen von 11 auf 21, oder es wächst:

der sagittale Durchmesser im Verhältniss von 1 : 2,5
die Anzahl der Knochenbälkchen „ „ „ 1 : 1,9
folglich die Distanz zweier senkrechter
Knochenbälkchen „ „ „ 19 : 25 = 3 : 4 = 0,6 : 0,8.

Dem Humphry'schen Satze (l. c. S. 137): „The cells of the cancellated tissue are wider in proportion as the bodies of the vertebrae are large" muss ich also entschieden widersprechen, nach ihm müsste die Anzahl der „cells" von oben bis unten gleich bleiben, also ihre Grösse im Verhältniss von 1 : 2,5 zunehmen, während dies nur im Verhältniss von 3 : 4 oder 1 : 1,33 geschieht.

Von sonstigen Unterschieden innerhalb der Wirbelreihe ist hervorzuheben, dass an den Halswirbeln ein relativ grosser Theil der von der Gelenkfläche des oberen proc. obliquus kommenden Bälkchen direct nach der des unteren proc. obliquus sich begiebt — ein Verhältniss, welches zwar bei allen Wirbeln stattfindet, jedoch weiter abwärts in weit geringerem Masse. An den unteren Brust- und den Lendenwirbeln beschreiben diese Knochenbälkchen einen nach vorn concaven Bogen. Bei den Hals- und ersten 11 Brustwirbeln stehen die oberen und unteren Gelenkflächen der proc. obliqui so, dass beide von demselben (ungefähr) sagittalen senkrechten Schnitte getroffen werden — daher ist der Uebergang von Bälkchen von einer Gelenkfläche auf die andere an den beregten Wirbeln auf den Photographien, wenn auch nicht überall deutlich, erkennbar.

An Sagittalschnitten vom proc. spinosus sieht man, besonders deutlich bei den unteren Brust- und den Lendenwirbeln, von der compacten Substanz des oberen und unteren Randes sich ablösende Knochenbälkchen, welche bogenförmig nach dem entgegengesetzten Rande ab- resp. aufsteigen. Dieselben kreuzen sich gegenseitig rechtwinklig und bilden so mehrere in einander liegende gothische Gewölbchen. Eine durch die Scheitel der letzteren gelegte Linie bildet einen mehrweniger flachen nach unten concaven Bogen.

2. Frontalschnitte.

Von den Frontalschnitten zeigt der des Epistropheus die charakteristische Figur des Dens, welcher in seiner oberen Hälfte meist ganz aus compacter Substanz besteht, aus der dann in der Mitte seiner Höhe, manchmal höher oder tiefer (es ist dies, wie vieles andere, individuell verschieden) sich Knochenbälkchen ablösen, welche theils divergirend nach unten-aussen verlaufen und auf der unteren Gelenkfläche aufstossen, theils auch senkrecht auf die

untere Fläche des Körpers sich begeben. Die von den beiden oberen Gelenkflächen kommenden Bälkchen schlagen eine nach unten und innen gehende Richtung ein, durchkreuzen somit die vorigen und vereinigen sich dann theilweise in der Mittellinie mit den von der anderen Seite stammenden, theils gehen sie vereinigt mit den vom Dens senkrecht kommenden zur unteren Körperfläche. Durch die Vereinigung in der Mittellinie entstehen mehrere (ca. 6—8) concentrische Bogen, die über einander in kleinen Distanzen (von ca. 1,5 mm.) liegen und durch die senkrechten Bälkchen auf der unteren Wirbelfläche ruhen. Zu dem System dieser Bogen können wir noch die die Basis des Zahns quer verbindenden Balken rechnen.

Die Frontalschnitte der Halswirbel vom dritten abwärts zeigen von der oberen Fläche des Wirbels ausgehende, theils senkrecht verlaufende, theils nach unten spitzwinklig divergirende, meist bogenförmig verlaufende Züge; verbunden sind dieselben durch quer gestellte Balken, welche je näher der Oberfläche des Körpers (unterer wie oberer), desto dichter angeordnet sind, analog dem Bilde, welches die Sagittalschnitte boten, im obersten und untersten Theile des Wirbelkörpers ein engeres, im mittleren (hier an den Halswirbeln etwas über der Mitte gelegenen) Theile ein weitmaschigeres Netz darstellen.

Ein ähnliches Bild gewähren die Frontalschnitte der Brustwirbel, nur sind hier, wie ja überhaupt die Brustwirbel nicht nur absolut, sondern auch relativ (im Verhältniss zur Breite) höher sind, als die Halswirbel, die senkrechten Bälkchen relativ länger im Vergleich zu den queren. Ferner sind die Lücken in der mittleren Region absolut und relativ grösser als bei den Halswirbeln und befindet sich diese Region hier tiefer als dort, ziemlich genau im mittleren Drittel des Wirbelkörpers.

Die Frontalschnitte der Lendenwirbel werden wieder breiter, nähern sich also dem Bilde eines allerdings stark vergrösserten Halswirbels. Bei beiden ist im Mittel das Verhältniss der Breite zur Höhe wie 5 : 3, genauer wie: 1,7—1,8 : 1, während es bei den Brustwirbeln wie 5 : $3^{3}/_{4}$, genauer wie 1,4 : 1 ist.

Die oben bei Betrachtung der Sagittalschnitte gefundenen Verhältnisse der Distanzen der Knochenbälkchen finden sich an den Frontalschnitten wieder bestätigt.

3. Horizontalschnitte.

Horizontal durchschnittene Wirbel zeigen sehr schön, besonders deutlich die Lendenwirbel und diese, wie die anderen Wirbel am deutlichsten in solchen Schnitten, die in einiger Entfernung von der oberen oder unteren Körperfläche gelegt sind, das „Aufpinseln" der aus dem Bogenhals, also wie wir von den Sagittalschnitten her wissen, den Gelenkfortsätzen stammenden Knochenbälkchen. Dieselben entwickeln sich aus dem Halse des Bogens und ziehen nun, sofort auseinanderfahrend, theils an den seitlichen Rand derselben Seite, theils an den vorderen, theils an den seitlichen Rand der anderen Seite, sie durchkreuzen sich also zum grössten Theile gegenseitig und müssen naturgemäss am hinteren Rande und zwar am auffallendsten in den mittleren Theilen des Wirbels eine dreiseitige Lücke offen lassen, deren

hintere Seite durch den gedachten hinteren Rand des Wirbelkörpers (vordere Wand des Wirbelkanals), deren Schenkel durch die am meisten medial gelegenen Knochenbälkchen gegeben sind. Durch diese Lücke treten bekanntlich die Hauptgefässe des Wirbels ein und aus. Dieselbe ist besonders deutlich an Lendenwirbeln, und von fast überraschend schöner Ausbildung an jugendlichen Wirbeln. Sehr häufig ist dieselbe oder wenigstens der Eingang zu ihr durch ein mediales senkrechtes Bälkchen, das natürlich auf einem dünnen Horizontalschnitt wegfällt, in zwei gleiche laterale Hälften getheilt.

Weniger deutlich, jedoch noch gut erkennbar, finden wir die eben beschriebenen Knochenbälkchen und diese Lücke an Brust- und Halswirbeln.

Horizontal durchschnittene proc. transversi der Brustwirbel zeigen sehr feine und zahlreiche (15—20) von der Rippen-Gelenkfläche kommende und schwach bogenförmig nach hinten convergirende Bälkchen, welche dort sich allmälig zu compacter Substanz ansammeln und so den hinteren Rand oder die hintere Wand des Bogens erzeugen. Denkt man sich eine Mittellinie oder -Ebene senkrecht in der Richtung der grössten Länge durch einen solchen horizontal durchschnittenen proc. transversus gelegt (welche je nach den verschiedenen Wirbeln gerade oder gebogen ausfallen würde), so haben wir den eben beschriebenen fast ganz genau symmetrische Bälkcken, welche von der äusseren Hälfte des hinteren Randes des Fortsatzes nach dem vorderen Rande zu verlaufen, dort gleichfalls zu grösserer compacter Substanzmasse werden. Sie schneiden sich mit den vorigen rechtwinklig und bilden mit diesen vereint betrachtet ganz an die Sagittalschnitte der proc. spinosi erinnernde, jedoch zierlicher ausgebildete Spitzbogen. — Dies Bälkchensystem kann ebenso wie jenes im proc. spinosus als eine, allerdings noch exactere Ausführung der Culmann'schen Fig. 107, Graphische Statik S. 236, betrachtet werden.

b. Kreuzbein.

1. Frontalschnitte.

Das Kreuzbein zeigt in frontalen, durch obere Fläche und facies auricularis gehenden Schnitten zunächst in dem den Wirbelkörpern entsprechenden Theile ein dicht gedrängtes Maschennetz von senkrecht und quer verlaufenden Knochenbälkchen. Die äussersten der senkrecht von der oberen Fläche entspringenden Bälkchen biegen bald nach aussen um und begeben sich in eigenthümlicher Anordnung in die Seitentheile des Knochens: ein sehr kleiner Theil geht an die obere Fläche des Seitentheils (an den Punct des stärksten Einschnitts), löst sich aber allmälig von dem Rande wieder ab und geht zur facies auricularis. Ein anderer Theil geht in dem Raume zwischen jenem Rande und oberem Rande des ersten Kreuzbeinloches, ohne einen derselben zu tangiren, hindurch und geht gleichfalls zur facies auricularis. Beide Reihen von Bälkchen sind unter sich parallel, in den oberen und unteren Partien leicht divergirend, alle senkrecht zur facies auricularis und unter sich durch senkrecht zu

ihnen stehende Bälkchen verbunden. Ein dritter Zug geht zu einem an dem oberen, äusseren Theile des das erste Kreuzbeinloch bildenden Knochenrandes gelegenen Puncte, und von dort theils, der ersten Partie (s. o.) analog, gleichfalls zur facies auricularis, theils ziemlich senkrecht in nach aussen convexem leichtem Bogen nach unten zum äusseren Rande des zweiten Kreuzbeinloches und den lateral von diesem gelegenen Partieen. Die mittelsten der senkrecht von der oberen Fläche des ersten Kreuzbeinwirbels abgehenden Bälkchen gehen analog denen in den wahren Wirbeln im Allgemeinen senkrecht weiter, enden an der meist deutlich erkennbaren unteren Fläche des ersten Kreuzbeinwirbels und finden dann im zweiten ihre Fortsetzung in analog verlaufenden. Noch weiter unten werden die Bilder immer undeutlicher: — mit dem Verluste einer irgend erheblichen statischen Bedeutung hört auch eine charakteristische Anordnung der Spongiosa-Bälkchen auf. (S. d. Tafeln.)

Weiter nach hinten gelegte frontale Schnitte zeigen eine stärkere Divergenz der nach der fac. auricularis verlaufenden Züge; es wird dadurch der mittlere Theil von Knochenbälkchen entblösst und stellt ein sehr zartes Netz von Stäbchen dar oder lässt wol auch eine mehrweniger beträchtliche Lücke frei.

2. Horizontalschnitte.

Horizontalschnitte vom Kreuzbein, zunächst solche, die durch den Gelenkfortsatz und die Gelenkfläche gehen, zeigen in der Nähe desselben grössere Anhäufungen von compacter Substanz, aus der sich sodann Bälkchenzüge entwickeln, welche (analog dem Verlaufe an den wahren Wirbeln) in den Wirbelkörper ausstrahlen; diese Ausstrahlung ist sehr schön und regelmässig angeordnet und überschreitet auch hier die Mittellinie. Die divergirenden Bündel sammeln sich dann wieder theilweise zu stärkeren Balken, theilweise begeben sie sich einzeln an den vorderen Rand des Wirbelkörpers, wo, wie an den wahren Wirbeln, eine sehr schwache Rinde zu Stande kommt. Die am weitesten hinten, fast in frontaler Richtung verlaufenden Bälkchen gelangen an den Punct des Kreuzbeins, wo die nach vorn convexe Wirbelkörperwand sich wieder concav nach vorn umbiegt, um dann als vordere Begrenzung der Seitenmassen bis zum Zusammentreffen mit dem vordersten Theile der facies auricularis zu verlaufen. Auf dem Wege dorthin vereinigen sich die äussersten (hintersten) mit den innersten (vordersten) vom Gelenkfortsatze der anderen Seite kommenden Bälkchen. Diese letzteren verlaufen von der Gelenkfläche aus, welche mit sehr starker compacter Substanz umlagert ist, schräg nach aussen-vorn bis fast genau nach aussen, sie divergiren gleich von Anfang an und enden, die innersten, wie eben gesagt, mit Bälkchen, die dem vom proc. articularis der andern Seite kommenden System angehören, verschmolzen, an jenem Knotenpunct in der Umbiegungsstelle des vorderen Randes, die übrigen an der facies auricularis und zwar dort wieder rechtwinklig zu deren Oberfläche.

Ein drittes System von Bälkchen, welche von dem „Knotenpuncte“ ausgehend theils auf die facies auricularis, parallel mit den vorigen, theils dieselben kreuzend in einem nach aussen

convexen Bogen nach hinten verlaufen und zwischen facies auricularis und proc. articularis enden, kann wol kaum als ein selbständiges, sondern muss vielmehr als eine Fortsetzung des ersten über den Knotenpunkt hinaus betrachtet werden.

3. Sagittalschnitte.

In der Medianebene gelegte Sagittalschnitte geben ein ähnliches Bild, wie solche von wahren Wirbeln; allerdings sieht schon der erste Kreuzbeinwirbel im Ganzen anders aus, da seine obere und untere Fläche nach hinten convergiren, so dass sein vorderer Rand am Medianschnitt ca. 8 mm länger als der hintere ist (32 mm : 24 mm). Wir finden die rechtwinklig sich kreuzenden Bälkchen, die gröberen Maschen in den mittleren Partieen, alles etwas undeutlicher als oben; auch verlaufen die sonst senkrechten Bälkchen hier in schwach nach vorn convexen Bogen und gehen die vordersten von ihnen frühzeitig in den vorderen Rand über. Eine verhältnissmässig grosse Partie von Bälkchen kommt von der oberen-hinteren Ecke des Schnittes des ersten Kreuzwirbels, welche ja in der aufrechten Stellung fast senkrecht über der unteren-vorderen liegt; demgemäss verschieben sich die verticalen Züge, enden aber schliesslich senkrecht auf die untere Fläche des ersten Kreuzwirbels. Ein Theil derselben geht erst allmälig vom hinteren Rande ab, einige erst unter dessen Mitte.

Sagittalschnitte durch den Gelenkfortsatz zeigen den oberen Knotenpunct der wahren Wirbel sehr stark ausgeprägt und von diesem aus horizontal nach vorn, ferner im nach hinten concaven Bogen schräg vor- und abwärts, sowie vertical und schräg ab- und rückwärts verlaufende Bälkchen. Ferner kommen von der oberen Fläche dicht gedrängte Stäbchen, die, theils an dem vorderen, theils an dem unteren Rande (obere Grenze des ersten Kreuzbeinloches), theils bogenförmig nach rückwärts verlaufend, am hinteren Rande enden.

II. Wirbel des Ochsen und Hundes.

Die sehr nahe liegende Frage, wie sich die Anordnung der Knochenbälkchen im Wirbel der Vierfüsser verhalte und inwiefern man vielleicht genöthigt sei, Verhältnisse des menschlichen Wirbels als vom Quadrupeden ererbt anzusehen, veranlasste mich zur Anfertigung von Knochenschnitten an Hunde- und Ochsenwirbeln, von denen ich Abbildungen auf Taf. I und II, Fig. 27, 28, 31, 32, 34, 35, gebe.

Beiläufig will ich bemerken, dass die Reinigung der thierischen Schnitte eine bei weitem schwierigere und langwierigere Aufgabe war, als die der menschlichen — ja dass es mir bei

einigen thierischen Schnitten überhaupt nicht gelingen wollte, sie weiss herzustellen. Ich glaube dies auf den Umstand zurückführen zu dürfen, dass ich fast nur Knochen von jungen Thieren, zu oft solche erhielt, bei denen die Epiphysen noch gar nicht oder erst theilweise mit dem übrigen Knochen verschmolzen waren. Im Einklange hiermit steht meine Beobachtung, dass die jüngst ossificirten Partieen der Knochen immer am längsten der Reinigung von den Weichtheilen widerstanden.

a. Wahre Wirbel.

1. Sagittalschnitte.

Ein durch die beiden (vordere und hintere) Gelenkflächen und Gelenkfortsätze gelegter Sagittalschnitt vom Ochsenwirbel zeigt auffallend starke von der vorderen Gelenkfläche kommende, im Gelenkfortsatz schräg nach hinten und unten verlaufende Knochenbälkchenzüge, welche theilweise auf dem, dem menschlichen Wirbel analog gelegenen Knotenpunkt, theilweise auf der hinteren Wirbelkörperfläche aufstossen, theilweise in dem unteren Schnittrande (also der unteren Fläche des Wirbelkörpers) enden. Dieses System wird ungefähr unter rechtem Winkel gekreuzt von einem in ähnlicher Weise von dem hinteren Gelenkfortsatze zur vorderen Wirbelkörperfläche und unteren Rande verlaufenden. Parallel diesem letzteren ziehend sehen wir ferner eine Reihe von Knochenbälkchen, welche nicht mehr vom hinteren Gelenkfortsatz, sondern von dem vor demselben gelegenen Theile des oberen Schnittrandes ausgehen.

Am deutlichsten zeigen sich auch hier die eben beschriebenen Knochenbälkchen in den hinteren Lendenwirbeln. Analoge Schnitte vom Hunde präsentiren sich so auffallend ähnlich, dass man dieselben für mathematisch verjüngte Ochsenwirbelschnitte zu halten versucht wäre.

2. Horizontalschnitte.

Horizontalschnitte vom Ochs (den Frontalschnitten vom Menschen entsprechend) lassen uns ein in engen regelmässigen Abständen von der vorderen zur hinteren Wirbelkörperfläche ziemlich geradlinig verlaufendes, im Allgemeinen rechtwinklig zu der vorderen und hinteren Wirbelkörperfläche stehendes System von Knochenbälkchen erkennen, dessen Geradlinigkeit jedoch in dem vorderen Wirbelabschnitte dadurch etwas beeinträchtigt wird, dass der (bekanntlich opisthocoele) Wirbel eine convexe vordere Fläche besitzt, auf welche sich die Enden der Knochenbälkchen rechtwinklig stellen, zu welchem Behuf sie, die lateralsten am stärksten und ehesten, nach aussen hin umbiegen. An möglichst weit oben, also nahe dem Abgange des Wirbelbogens gelegten Schnitten, stellt eine die Endpuncte dieser äussersten bogenförmigen Knochenbälkchen verbindende Linie den mathematischen Durchschnitt der vorderen Rippengelenkflächen dar. — Nach hinten verhält es sich analog und enden auch hier die lateralsten Knochenbälkchen an der hinteren Rippengelenkfläche und zwar hier, wie an der vorderen, senkrecht zu derselben. Rechtwinklige Durchkreuzung dieser longitudinalen Züge durch transversale bringt auch hier wieder das Bild eines ziemlich regelmässig-rechtwinkligen Maschen-

werks hervor. An der mittleren Region fallen am Aussenrande bedeutend vergrösserte Maschen auf, während sich nahezu in der Mitte zwischen vorderem und hinterem sowohl wie rechtem und linkem Rande des Wirbels die grosse mittlere Gefässlücke vorfindet. — Ganz Aehnliches zeigt ein analoger Schnitt beim Hund.

3. Frontalschnitte.

Frontalschnitte vom Ochsen und Hund (Horizontalschnitten vom Menschen entsprechend) lassen nur mit einiger Mühe erkennen, dass die Hauptmassen der den Wirbelkörper ausfüllenden Knochenbälkchen von jener oft genannten Stelle am Bogenhals entspringen und von dort fächer- oder pinselförmig in den Körper verbreiten. Auch hier durchkreuzen sich die von den verschiedenen Seiten (rechts und links) stammenden im Allgemeinen rechtwinklig, die Maschen haben aber vielfach eine mehr runde resp. ovale oder unregelmässige Gestalt.

b. Kreuzbein.

1. Frontalschnitte.

An Frontalschnitten vom Kreuzbein des Ochsen sieht man sehr regelmässige Züge von Knochenbälkchen von der Gelenkfläche des proc. articularis (mit dem letzten Lendenwirbel) nach der ganzen Ausdehnung des lateralen Randes des Kreuzbeines, also der superficies auricularis, sowie der angrenzenden Theile des unteren Schnittrandes bis über die Mitte zwischen lateralem vorderem Winkel und Medianlinie hinaus ausstrahlen. An der vorderen Grenze des proc. obliquus, auf der Innenseite desselben, an einem dem Bogenhalse der Wirbel entsprechenden Puncte befindet sich eine stärkere, halbmondförmige Anhäufung von Knochensubstanz, von der in verschiedenen Richtungen Knochenbälkchen abgehen. Der eine Theil geht, die von der Gelenkfläche kommenden Züge rechtwinklig kreuzend, schräg nach aussen und oben, um fast ganz in einer dicht neben (aussen) dem proc. articularis gelegenen Hervorragung zu enden. Ein anderer Theil geht parallel den von der Gelenkfläche kommenden Zügen nach unten und aussen, ein dritter nach unten und innen und ein vierter horizontal nach innen, ja sogar theilweise etwas nach oben. Besonders kräftig sind die sich fachwerkartig kreuzenden, nach unten, innen und aussen verlaufenden Züge ausgebildet. Ein drittes System von Bälkchen, als dessen Knotenpunkt wir die schräg unter- und ausserhalb von dem eben beschriebenen Knotenpunkt gelegene, etwa das mittlere Fünftel des unteren Schnittrandes einnehmende stärkere Knochensubstanzanhäufung ansehen, besteht aus bogenförmigen von dem oberen Rande des Wirbelkörpers, sogar von der anderen Seite, zu diesem Knotenpunct herabsteigenden Zügen und solchen, die sich wieder von ihm bogenförmig nach aussen und oben zur superficies auricularis begeben. Die Concavität des Bogens ist bei beiden nach oben, bei den ersteren ausserdem nach aussen, bei letzteren mehr nach innen gerichtet. — Diese Anordnung erinnert lebhaft an den calcaneus.

Auch hier wie beim menschlichen Kreuzbein und den Wirbeln finden wir das Hinübergehen der Knochenbälkchen von der einen Seite der Medianebene zur anderen.

2. Horizontalschnitte.

Horizontalschnitte zeigen erstens: dem medialsten Theile des Körpers angehörende, rechtwinklig sich schneidende und sehr enge Maschen umschliessende Knochenbälkchen, welche von vorn (Grenze gegen den letzten Lendenwirbel) nach hinten und von rechts nach links verlaufen, zweitens: solche, die von vorn nach hinten und aussen gehen und zwar von dem lateralen Theile des Wirbelkörpers kommend spitzwinklig convergirend sich in der Mitte des Seitentheils zu compacter Masse zusammenlegen. Der so gebildete Saum von Compacta am vorderen Kreuzbeinrande entsendet dann bald wieder Knochenbälkchen, die divergirend zur facies auricularis ziehen, dort rechtwinklig zu ihr auftreffen und fast die vordere Hälfte des Schnittrandes an derselben einnehmen.

Rechtwinklig durchkreuzt werden diese Knochenbälkchen durch die Ausläufer eines Systems, das dem letzten der bei dem Frontalschnitt beschriebenen ähnlich, seine Wurzeln im Wirbelkörper, seinen Knotenpunkt dem vorigen gegenüber auf dem hinteren Schnittrande, seine pinselförmig ausstrahlenden Ausläufer in den Seitentheilen nach der Gelenkfläche zu hat. Diese beiden Systeme umschliessen eine im Kreuzbein befindliche constante Lücke, die beim ausgewachsenen Thiere 2—2,5 cm. breit und hoch, in Sagittalausdehnung 1—1,5 cm. lang ist. Drei von den dieselben auf dem Horizontalschnitt einfassenden Bogen sind bereits beschrieben, der vierte zieht vor ihr vom ersten (vorderen) Knotenpunkt zur hinteren äusseren Ecke des Wirbelkörpers. Einzelne Knochenspangen tragen säulenförmig dies Gewölbesystem.

Diese Lücke fand ich constant in allen von mir untersuchten Kreuzbeinen vom Ochsen, sie ist bei jüngeren Thieren (von solchen rühren die Frontal- und Sagittalschnitte her) kleiner, theilweise nur durch weitere Maschen angedeutet, und liegt dort weiter nach aussen, also der facies auricularis näher. Beim erwachsenen Thier liegt sie ca. 3—8 Millimeter hinter der vorderen Kreuzbeinfläche in dem an den Wirbelkörper nach aussen grenzenden Viertel der Ausdehnung des Kreuzbeines von der Medianebene bis zur facies auricularis und reicht bis wenige Millimeter vor dem ersten Kreuzbeinloch.

3. Sagittalschnitte.

Sagittalschnitte in oder nahe der Medianebene zeigen ein vorzugsweise von vorn nach hinten verlaufendes, durch Querbalken verbundenes System. In der Nähe der for. sacralia antt. erfährt die Regelmässigkeit der Anordnung einige Modificationen durch das Auftreten von Stützbalken für diese Gewölbebildung.

Weiter seitlich gelegte Schnitte (in der Nähe einer durch den proc. obliquus gehenden Sagittalebene) geben ein deutliches Bild von Knochenbälkchen, welche von der Gelenkfläche stammend sich im schwachen Bogen theils nach der vorderen Fläche des Kreuzbeins, theils

nach unten, theils nach hinten zur facies auricularis begeben; rechtwinklig durchkreuzt werden sie von Bälkchen, welche in einem sanften, nach oben offenen Bogen von vorn nach hinten ziehen. Auch hier tritt die oben beschriebene Lücke sehr deutlich hervor.

Architectonik des Wirbels als Ganzen.

I. Mensch.

Fassen wir jetzt das Ergebniss der in den drei Hauptebenen des Raumes ausgeführten Schnitte kurz zusammen, so finden wir den Wirbelkörper des Menschen aus senkrecht und wagerecht verlaufenden Bälkchen construirt, denen sich einige schrägstehende und die von den Bogen, also vor Allem vom proc. obliquus kommenden Systeme zugesellen. Letztere begeben sich vorzugsweise im unteren und oberen Drittel bis zum Wirbelrande und bewirken dessen starkes Hervortreten, welches weiter nach unten (in der Wirbelreihe) allmälig stärker wird und an einigen Lendenwirbeln oft in ein förmliches Ueberhängen der Ränder ausartet. In der mittleren Schicht des Wirbels befindet sich eine mit relativ grossen Maschen ausgefüllte Partie, die ungefähr einer abgestumpften vierseitigen Pyramide ähnlich sieht, deren Spitze nach hinten, deren Basis an den vorderen, resp. Theilen der Seitenwände sich befände. Dieser Form entsprechend geht die Verästelung der an der abgestumpften Spitze eintretenden Gefässe vor sich. Eine eigentliche grössere Markhöhle kommt so im Wirbelkörper gar nicht zu Stande. Die sog. „compacte“ Substanz ist im Wirbelkörper so gut wie nicht vorhanden, d. h. also: die Knochenbälkchen werden fast nirgends in ihm durch statische Einwirkungen zu einem Aneinanderlegen gezwungen.

Der Bogenhals hat eine relativ dicke, compacte Rinde und in dieser eingeschlossen die ziemlich nahe an einander liegenden Knochenbälkchen, welche zu den beiden Gelenkflächen der proc. obliqui führen; ausserdem sind noch Knochenbälkchen vorhanden, die direct von der oberen zur unteren Gelenkfläche ziehen. Der übrige Theil des Bogens zeigt ein regelmässiges Fachwerk, dessen Balken vordere und hintere Wand desselben verbinden. Auf das sehr zierliche System von Druck- und Zugcurven im proc. transversus des Brustwirbels habe ich schon oben aufmerksam gemacht, einen nennenswerthen Einfluss der Rippen auf den Verlauf der Knochenbälkchen im Wirbelkörper habe ich beim Menschen nicht nachweisen können (s. u.). Der proc. spinosus zeigt einen ganz ähnlichen Bau, wie die proc. transversi, nur sind die Bogen dort in sagittaler, hier in horizontaler Richtung angeordnet.

Wesentliche Unterschiede in der Architectonik der einzelnen Wirbel und Wirbelgruppen unter einander bestehen nicht, wie schon eine eingehende Betrachtung der Fig. 1—22 auf Tafel I und II lehrt.

Denken wir uns zwei Wirbel in ihrer natürlichen Verbindung, so zeigt sich, dass die von dem oberen proc. obliquus kommenden Knochenbälkchen, welche zunächst auf der untern Fläche des Wirbels enden, gewissermassen in den von der oberen Fläche des darunter befindlichen Wirbels direct nach unten sowohl wie nach dem unteren proc. obliquus ziehenden Systemen ihre Fortsetzung finden. Wir erhalten also, schematisch gedacht, eine Schlangen- oder Zickzacklinie, die von einer ganz analogen durchschnitten wird, welche von der oberen Fläche des ersten Wirbels zu dessen unterem Gelenkfortsatz, von dort durch den oberen Gelenkfortsatz des unteren Wirbels zu dessen unterer Fläche sich begibt.

Betrachten wir die Anordnung der Bälkchen im Verhältniss zu den beiden Nervenkanälen der Wirbelsäule, dem Rückenmarkskanal und den jederseits von demselben ausgehenden Intervertebralkanälen („Foramina"), so fällt in die Augen, dass ersterer sowohl wie letztere von starken Systemen theils concentrisch, theils fachwerkartig angeordneter Knochenbälkchen umschlossen werden. Der Rückenmarkskanal wird an den Seiten von den Bogenschenkeln begrenzt, die wesentlich aus parallelen Balken bestehen, während der ihn nach hinten deckende Bogen aus zwei relativ starken concentrischen Ringen „compacter" Substanz gebildet wird, welche durch schräg gestellte Fachwerksstreben auseinander gehalten werden. Nach vorn schliesst dann den Ring der Wirbelkörper mit seinen mannigfachen, auf alle Arten von Belastung eingerichteten Balkensystemen, von denen hier vorzüglich die transversalen und die aus dem Bogenhals in den Körper ausstrahlenden in Betracht kommen.

Die Foramina intervertebralia werden bekanntlich durch die theils directe (proc. obliqui), theils indirecte (Intervertebralscheiben) Verbindung zweier Wirbel gebildet. Oben und unten haben wir wieder die Bogenschenkel, nach hinten die parallelen Balken der proc. obliqui, welche bogenförmig oder in einem, mit dem Scheitel an der Gelenkverbindung liegenden stumpfen Winkel in einander übergehen. Nach vorn haben wir die (am oberen Wirbel nach unten, am unteren nach oben) vom Bogenhals ausstrahlenden, einander zustrebenden Bälkchen, deren Zusammenstossen jedoch durch die dazwischen eingeschobene Zwischenwirbelscheibe verhindert wird.

II. Vierfüsser.*)

Den Vierfüsser-Wirbel finden wir im Grossen und Ganzen dem menschlichen ähnlich gebaut. Bei eingehender Betrachtung vermissen wir bei ersterem die beim Menschen relativ starke Entwicklung des quadratischen Netzwerkes von senkrechten und wagerechten Knochenbälkchen — während die von den proc. obliqui kommenden Systeme beim Thiere bedeutend

*) Die Ausdrücke „Vierfüsser" und „Quadrupede" gebrauche ich wie H. Meyer (s. desselben „Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes", Leipzig. 1873. S. 60).

mehr in die Augen fallen. S. 8 sahen wir, dass sich die von den proc. obliqui in den Wirbelkörper verlaufenden Knochenbälkchen je in 2 Systeme spalten, eine Regel, die beim Ochs z. B. nur an den Brustwirbeln vollständig, an den Lendenwirbeln nur für das vom vorderen proc. obliquus stammende Bälkchenbündel gültig ist. Der hintere proc. obliquus des Ochsenlendenwirbels erstreckt sich so weit nach hinten oder vielmehr er ist durch einen so tiefen Ausschnitt von dem Wirbelkörper getrennt, dass die von der hinteren Fläche des Wirbelkörpers zum hinteren proc. obliquus verlaufenden Knochenbälkchen vollständig in die Bahn der von vorderem proc. obliquus zur hinteren Fläche verlaufenden fallen. Am Brustwirbel des Ochsen ist der entsprechende Ausschnitt durch eine Knochenbrücke zu einem Loche geschlossen (Fig. 34, Taf. I), diese Knochenbrücke enthält die beim Lendenwirbel vermissten Knochenbälkchen vom unteren hinteren Rande zum hinteren proc. obliquus. Am Lendenwirbel ist dieselbe durch ein starkes Band ersetzt. — Den Umstand, dass diese Knochenbrücke an den Brustwirbeln vorhanden ist, an den Lendenwirbeln dagegen fehlt, erkläre ich durch die An- resp. Abwesenheit von Rippen. Die Art und Weise, wie die Rippe am Wirbel wirkt, werde ich weiter unten besprechen, — jedenfalls steht aber fest, dass dieselben einen, allerdings bei verschiedenen Thierklassen verschieden grossen mechanischen Einfluss auf den Wirbel ausüben. Besonders stark ist derselbe aus physiologischen Gründen (Art der Nahrung und Verdauung) z. B. bei den Bisulca, Solidungula und anderen, weit weniger stark bei den Carnivoren und am schwächsten beim Menschen. Beim Ochsen z. B. ist der Druck des Rippenköpfchens so kräftig, dass man gewiss mit Recht die eben erwähnte Knochenbrücke als in Folge dieses Druckes gebildet ansehen darf. Bei Carnivoren und kleineren Bisulca ist dieselbe nicht vorhanden, beim Menschen ja auch nicht. —

Weitere Unterschiede zeigen sich zwischen Vierfüsser- und Menschenwirbeln im Bau der proc. transversi, von denen hier uns zunächst die der Brustwirbel interessiren. Selbstverständlich sind sie, analog dem quantitativ sehr verschiedenen Ausbildungsgrade der Rippen, gleichfalls beim Vierfüsser weit stärker entwickelt als beim Menschen. Aber diese, wie alle übrigen Unterschiede im Wirbelbau sind keine wesentlichen, sondern nur quantitative im engsten Sinne, wie ich anzunehmen durch die Ergebnisse einer näheren Vergleichung mich berechtigt glaube.

Die Wirbelsäule als Fachwerk.

Sehen wir von denjenigen Knochenbälkchen ab, welche ihr Dasein mehr accessorischen Gebilden resp. Einwirkungen verdanken und betrachten wir nur diejenigen, welche direct durch physikalische Kräfte entstanden sind — also den uns ja bekannten, auf die Wirbelsäule

einwirkenden, Kräften entsprechen, so können wir sowohl für die thierische wie für die menschliche Wirbelsäule als das zu Grunde liegende Schema das Fachwerk betrachten.

Das Fachwerk besteht (cf. Culmann l. c. S. 362) aus zwei, über die betreffende Oeffnung sich erstreckenden Balken, einem oberen und unteren, die obere und untere Gurten, Druck- und Streckbäume oder Bogen (wenn gebogen), genannt werden. (Fig. 1, *a* u. *b*.)

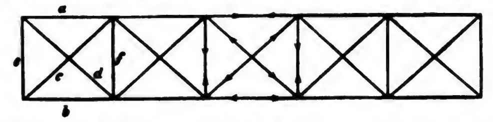


Fig. 1. Fachwerk, *a* und *b* Gurten, *a* Druckbaum, *b* Streckbaum, *c* und *d* Streben, *e* und *f* Pfosten oder Vertikalständer. Die Pfeile in dem mittleren Fach deuten die Richtung der an dem Fachwerk bei ruhender Belastung wirkenden Kräfte an.

Ist nur eine Oeffnung vorhanden (wie bei der Wirbelsäule), so ist der obere Baum stets gepresst, der untere gespannt. Das dritte Constructionselement wird durch eine Reihe Balken gebildet, welche von einem Widerlager zum andern und von Streckbaum zu Streckbaum in der Art verlaufen, dass immer zwei dieser Balken gleichzeitig mit einem Streckbaum zusammentreffen; diese Balken bilden zusammen eine gebrochene Linie, die sich von einem Widerlager zum andern erstreckt, und deren Winkel auf den Streckbäumen liegen. Sie heissen Streben, resp. Diagonalbänder (Fig. 1, *c*, *d*). Gewöhnlich werden dieselben abwechselnd schräg und vertikal gestellt, die letzteren heissen dann Pfosten, Hängesäulen oder Vertikalständer (Fig. 1. *e*, *f*).

Alle diese Theile heissen zusammen: Füllung. Wenn einzelne Füllungsglieder bei wechselnder Belastung bald gepresst, bald gedehnt werden, so müssen sie entweder so construirt sein, dass sie in jedem Sinne widerstehen können oder sie müssen verdoppelt werden. Dies kann durch Einführung der zweiten Diagonale der Figur, deren erste bereits im Füllungsglied dargestellt ist, geschehen, jene heisst dann Gegenstrebe oder Gegenband. — Die Puncte, in denen je zwei Füllungsglieder mit den Streckbäumen zusammentreffen, heissen Knotenpuncte (Fig. 2, A, B, A_1, B_1). Vergleichen wir nun die Sagittalschnitte, zunächst die vom Ochsen, mit dieser Beschreibung und der Fig. 1, so ergibt sich bei näherer Vergleichung, dass wir in der Wirbelsäule der Vierfüsser eine, allerdings complicirte und theilweise modificirte Fachwerksconstruction vor uns haben. Dem Druckbaume entsprechen die vom vorderen zum hinteren proc. obliquus gehenden Knochenbälkchen, dem Streckbaum, besonders in den untern Abschnitten des Wirbelkörpers, die von vorn nach hinten verlaufenden in Verbindung mit dem lig. longitud. anticum, die Füllungsglieder werden von den schräg von dem proc. obliquus zur gegenüberliegenden Fläche des Wirbels ziehenden Systemen repräsentirt. Ob man die vorzugsweise in der Nähe der Wirbelkörperflächen ziemlich senkrecht verlaufenden Knochenbälkchen als Pfosten resp. Hängesäulen anzusprechen berechtigt ist, stelle ich dahin. Die

statischen Knotenpuncte und die von mir als denselben entsprechend angesehenen und demgemäss bezeichneten Stellen im Wirbel (s. S. 8) decken sich nicht vollständig, ein Umstand, der wol hauptsächlich auf die im schematischen Fachwerk nicht vorhandene Spaltung der Streben und Diagonalbänder in zwei Schenkel zurückzuführen sein dürfte.

Aber davon abgesehen, finden wir, wie überall in der Natur, so auch hier nicht genau die mathematischen Figuren wieder, wie sie uns der Ingenieur gibt, wir haben ausser der Vervielfältigung der im Schema nur einfach gezeichneten Füllungsglieder auch noch mannigfache andere kleine Abweichungen von den schematischen Linien. Aber im Grossen und Ganzen lässt sich doch die Architectonik des Vierfüsserwirbels als Fachwerksconstruction erkennen. Nun haben wir aber kein einfaches Fachwerk, sondern zwei Systeme, auf jeder Seite der Körpermedianebene eines, welche in der Weise schräg gegen einander gestellt sind, dass sie nach unten convergiren, ja sich dort berühren und sogar theilweise durchkreuzen. Die am Vierfüsserwirbel besonders deutliche, in der Mittellinie der unteren Fläche, also dem lig. long. ant. entsprechend, vorhandene Leiste ist wol auf diesen Umstand zurückzuführen. Eine Verbindung dieser beiden Systeme an der offenen dritten Seite wird durch den Wirbelbogen bewirkt, welcher seinerseits gleichfalls ein Fachwerk darstellt, welches aus einem Druck- und einem Spannbogen, sowie mehrfach angebrachten Füllungsgliedern besteht. Druck- und Spannbogen werden durch die relativ starke compacte Substanz des Wirbelbogens, die Füllungsglieder durch die theils schräg theils rechtwinklig zu denselben gestellten Knochenspangen dargestellt. Diese drei Systeme scheinen mir das Wesentliche an dem Bau der Vierfüsserwirbel zu sein, wobei ich jedoch ausdrücklich bemerke, dass wir viele Knochenbälkchen haben, welche nicht direct zu diesen Systemen zu rechnen sind. Ausser dem ganzen proc. spinosus, der sein Dasein ausschliesslich dem Zuge der Bänder und Muskeln verdankt (wie dies ja sein innerer Bau zeigt), haben wir noch eine auffallend grosse Anzahl longitudinal und quer verlaufender Knochenbälkchen, welche wol am natürlichsten als accessorische Stützsysteme aufzufassen sind.

Bei weitem einfacher und eigentlich genau nach dem Fachwerksschema gebaut erscheint der typische Fischwirbel. Denken wir uns ein Fach des Fachwerks (Fig. 1, S. 21) in der in Fig. 2 angedeuteten Weise um eine durch den Kreuzungspunct der Streben O parallel zu den Streckbäumen AB und A_1 B_1 gelegte Axe X X_1 $^1/_2$ Mal herumgedreht, so erhalten wir einen Körper, der genau die Form des Fischwirbels hat, wir haben einen Cylinder, aus dem die beiden Kegel AOA_1 und BOB_1 herausgenommen sind; nun ist der Punct O nicht mathematisch genau als solcher in der Natur wiedergegeben, sondern wird durch eine mehrweniger bedeutende — immer aber relativ schwache Substanzmasse

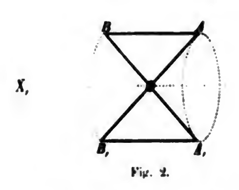


Fig. 2.

repräsentirt, die Axe XX_1 entspricht der Chorda. Alle durch die Medianebene eines Fischwirbels gelegten Schnitte geben die Figur $BAOB_1A_1$ mit einem bei verschiedenen Arten verschieden grossen Winkel BOB_1 resp. AOA_1. — Seitlich von der Medianebene des Wirbels geführte Sagittalschnitte geben Bilder wie das von Thynnus vulgaris auf Taf. I, Fig. 33 wiedergegebene. — Abweichende Formen, wie z. B. die ringförmigen Ablagerungen bei Chimaera u. a., deren Chorda in bedeutender Dicke persistirt, lassen sich auf dieses Schema zurückführen; weiter unten, bei Betrachtung der Intervertebralscheiben, werden wir ein zweites Beispiel von der nahen Beziehung der ring- oder röhrenförmigen Gebilde zum Fachwerk sehen, wie dies ja auch beim menschlichen Wirbel in die Augen fällt. —

Doch zurück zum Vierfüsser. Aus ihren einzelnen „Fächern" setzt sich seine Wirbelsäule zusammen. die Bewegungen innerhalb derselben haben die Zergliederung in die Wirbel wahrscheinlich herbeigeführt, jedenfalls bisher aufrecht erhalten. Aber trotz dieser Gliederung sind wir berechtigt, auch einzelne Gruppen oder die ganze Brustlendenwirbelsäule in vielen Beziehungen als ein Ganzes im Sinne der Statik und Mechanik aufzufassen. Auf die Art und Weise der Verankerung der einzelnen Glieder durch die Bänderapparate, wie der Einfügung in die Widerlager, also vordere und hintere Extremität, will ich hier nicht näher eingehen. (s. u.)

Betrachten wir nun die vordere Extremität sammt den dieselbe mit dem vorderen Ende der Brustwirbelsäule verbindenden knöchernen Theilen als vorderen, die hintere Extremität mit dem Becken als hinteren Pfeiler, und sei die Aufgabe gegeben, die beiden Pfeiler durch eine den zwischen denselben befindlichen Raum überspannende Construction zu verbinden, so werden wir dies durch eine Brücke thun. Diese Brücke kann nun in gerader Linie, in stumpfem Winkel, endlich im Bogen sich über die Oeffnung ausspannen. Für alle drei Möglichkeiten haben wir Beispiele in der Thierwelt und den durch Menschenhand erbauten Brücken. Sehen wir ab von den massiven steinernen Brücken, so sind die neueren rationell gebauten, meist eisernen, Brücken sämmtlich in Fachwerkconstruction erbaut und haben, da sie meist für Eisenbahn- oder Wagenverkehr bestimmt sind, fast alle eine geradlinige und horizontale Fahrbahn. Nun können auch bei derartiger Fahrbahn die Hauptconstructionstheile in Bogenform angeordnet sein, ohne die Fachwerksconstruction aufzugeben, und so sehen wir an neuen Brücken vielfach die Druck- und Spannbäume, sei es der eine von beiden oder beide in gebrochener oder krummer Linie verlaufen, während die einzelnen Füllungsglieder gerade Linien darstellen. Als Beispiel führe ich hier nur den v. Pauli'schen Träger (Culmann, S. 395, Fig. 163 und Tafel 27, 2) und die nach diesem oder ähnlichen Systemen ausgeführten Eisenbahnbrücken bei Mainz, Ludwigshafen, Harburg, Corvey, Grosshesselohe bei München etc. an. — Ja auch der wirkliche Bogen kann, wenigstens ein flacher, wie ihn Culmann Tafel 24, 1 gibt, als Fachwerk betrachtet werden. Der für uns hier wichtigste Unterschied ist nur der, dass beim Bogen die Construction nach den beiden Widerlagern hin verstärkt werden muss, woraus eben die bekannte Bogenform resultirt. Auch hierfür werden wir weiter unten Analogieen finden. Als Beispiel diene die Eisenbahnbrücke bei Mülheim

an der Ruhr. Bei den Wirbelthieren finden wir die gerade Form der Wirbelsäule vorzugsweise nur in den niederen Classen, bei denen meist von einer Ausbildung von Extremitäten noch gar nicht, wenigstens nicht in dem uns hier beschäftigenden Sinne als Stützen (Pfeiler der Statik) der Wirbelsäule die Rede ist. Mit dem Auftreten stärkerer Extremitäten, oder was dasselbe heisst, von dem Augenblicke an, wo die Extremitäten allein oder vorzugsweise als Stütze des frei über dem Boden getragenen Rumpfes und zur Fortbewegung desselben auf dem Lande (im Gegensatz zu Wasser und Luft) dienen, sehen wir die Wirbelsäule ihre geradlinige Gestalt ändern und bald in Form einer stumpfwinklig gebrochenen Linie, bald in derjenigen eines flachen Bogens erscheinen. Unter den Säugethieren hat z. B. die Brustlendenwirbelsäule des Elephanten die Form des flachen Bogens, während die der meisten übrigen Mammalia in der Figur einer mehr oder weniger stark gebrochenen Linie erscheint. Bei vielen, so den Carnivoren liegt der höchste Punct der Brustlendenwirbelsäule, also der Scheitel des stumpfen Winkels, genau in der Mitte zwischen den beiden Endpuncten, erstem Brust- und letztem Lendenwirbel, bei den Bisulca, Solidungula u. a. liegt dieser „Inclinationspunct" dem Kreuzbein näher.]

Was nun die mechanische Veranlassung zu dieser Configuration der Wirbelsäule betrifft, so liegt dieselbe wol in letztem Grunde in einer willkürlich, also durch Muskelwirkung, herbeigeführten Biegung, welche dann im Laufe der Entwicklung der Thierreihe sich mehr oder weniger stark ausgeprägt erhielt. Meyer's Annahme jedoch, dass sich jedes Individuum seine Wirbelsäule erst durch wiederholte Muskelwirkungen die der Art zukommende Krümmung erwerbe, ist mir wenig wahrscheinlich, — wir kommen weiter unten auf eine ähnliche Frage zurück. Im Zusammenhang mit der Figur der ganzen Wirbelsäule steht die Grösse der einzelnen Wirbel. Diese nehmen von den Extremitäten nach dem Inclinationspuncte hin an Grösse ab, und zwar meist in sämmtlichen Durchmessern. Es ist dies wiederum eine mechanisch leicht zu erklärende Thatsache: in Folge der Biegung der Wirbelsäule muss sich allmälig aus der einfachen Fachwerksconstruction, welche entweder von einem Widerlager zum andern gleich stark oder sogar in der Mitte stärker construirt ist, als in der Nähe der Widerlager, eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Bogenconstruction entwickeln, deren Elemente nach den Widerlagern zu allmälig aber stetig an Stärke zunehmen, wie dies ja an jeder Bogenpfeilerbrücke zu sehen ist. Die Fachwerksconstruction als solche bleibt also bestehen, sie wird nur nach den Widerlagern zu verstärkt. Allerdings dürften es hier, wie oben, nicht die während des individuellen Lebens einwirkenden mechanischen Kräfte, sondern doch nur die Multiplication derselben im Laufe der Artentwicklung gewesen sein, welche dieses interessante Verhältniss bewirkte.

Die proc. spinosi der Brustlendenwirbelsäule des Quadrupeden sind so gestellt, dass sie von beiden Seiten gegen den Inclinationspunct hinneigen, eine Thatsache, die meiner Ansicht nach folgendermassen zu erklären ist: bei der Einbiegung der Wirbelsäule in oder nahe der Mitte wird Alles, was auf der convexen Seite des entstehenden stumpfen Winkels oder Bogens

liegt, gedehnt werden, also auch die an den proc. spinosi, besonders an deren Spitzen befindlichen Bänder und Muskeln, diese werden das Bestreben haben sich wieder zusammenzuziehen und werden dies natürlich nach der Mitte zu thun, wo sich ein neutraler Punct befinden muss, dargestellt durch denjenigen Wirbel, dessen proc. spinosus weder nach vorn noch nach hinten sich bewegt hat. Natürlich werden nun die vor diesem neutralen Puncte gelegenen proc. spinosi einen Zug nach hinten, die dahinter gelegenen einen solchen nach vorn auszuhalten haben und demselben schliesslich mehr oder weniger nachgeben müssen. Denken wir uns nun die Spitzen der proc. spinosi des Quadrupeden durch eine Linie verbunden, so erhalten wir zwei Bogen, von denen der vordere höher und, besonders vorn, steiler, der hintere flacher erscheint. Beide Bogen schneiden sich über dem Scheitel des Winkels, der vordere, an dem ja das lig. nuchae befestigt ist, fällt steil nach dem Halse zu ab, der hintere verliert sich allmälig am Kreuzbein oder Schwanz. Die grössere Höhe des vorderen Bogens, also der proc. spinosi der vorderen Brustwirbel, ist Folge der hier stärker entwickelten, besonders zur Befestigung und Bewegung der scapula dienenden Muskulatur. Hervorzuheben ist noch, dass vorn der Kopf und Hals, hinten der Schwanz einen, besonders bei ersterem nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die Aequilibrirung der Wirbelsäule ausüben, indem sie hebelartig wirkend, den auf der entgegengesetzten Seite des Unterstützungspunctes (die über der vorderen und hinteren Extremität quer durch die Wirbelsäule gelegte Axe) befindlichen Theil der Wirbelsäule durch ihr Gewicht in die Höhe zu heben befähigt sind. Es leuchtet ein, dass besonders der Kopf durch seine relativ grosse Schwere den vorderen Theil der Brustlendenwirbelsäule zu heben im Stande ist. Wahrscheinlich kommt dieser Umstand bei der uns hier beschäftigenden Figuration der Brustlendenwirbelsäule, wenn auch weniger als die willkürliche Muskelthätigkeit mit in Betracht. Eine die Spitze der proc. transversi der Lendenwirbel verbindende Linie bildet beiderseits gleichfalls einen, nach aussen convexen Bogen, — eine wesentliche mechanische Bedeutung dürfte dieser Umstand aber kaum haben.

Der menschliche Wirbel ist im Wesentlichen, wie wir oben sahen, demjenigen des Vierfüssers analog gebaut, die menschliche Wirbelsäule ist also auch im Grunde eine Fachwerksconstruction. Das Fachwerk, welches statisch betrachtet (cf. Culmann S. 361) die vollkommenste Construction ist, hat vor Allem auch die Eigenschaft, dass man es aufrichten, auf das eine Ende stellen kann, ohne dass wesentliche Aenderungen in der Anordnung der Balken nothwendig würden. Die Vierfüsser sind ja auch, wie wir wissen, befähigt, auf nur zwei Extremitäten zu gehen, und ist ja der Uebergang von solchen Thieren, die dies ausnahmsweise, zu denen, die dies regelmässig thun, also auch dem Menschen, ein allmäliger — es existiren in diesem Puncte nur quantitative Unterschiede. Quantitative Unterschiede finden wir auch nur bei Vergleichung der menschlichen und Vierfüsserwirbel. Bei ersteren treten nur diejenigen Knochenbälkchen, die einer Belastung von oben (vorn beim Thier) entsprechen, kräftiger hervor, während die kreuzweise angeordneten eigentlichen Füllungsglieder des Fachwerks relativ schwächer werden. Dass sie jedoch noch in der ganzen Wirbelreihe

vorhanden sind, lehren die Tafeln, — diese Bälkchen gerade waren es, die mir bei den ersten angefertigten Sagittalschnitten in die Augen fielen.

Bei einer solchen Aufrichtung eines Fachwerkes ist es nun nöthig, in den unteren Fächern die Constructionstheile zu verstärken, zu vergrössern und wird diese Vergrösserung der Balken Schritt halten müssen mit der Zunahme des dieselben belastenden Druckes, wir werden also, schematisch betrachtet, eine „Dreiecksconstruction" erhalten, das Dreieck wird desto spitzwinkliger sein, je allmäliger der Druck in den von oben nach unten auf einander folgenden Schnitten zunimmt, bei schnell anwachsendem Druch wird der Winkel an der Spitze, also auch die Basis relativ grösser sein müssen. Als Beispiel einer derartigen Fachwerksconstruction nenne ich die Pfeiler des Eisenbahnviaducts über die Saane bei Freiburg im Uechtland (Schweiz).

Eine fernere Folge der Aufrichtung wird die sein, dass besonders die äusseren Balken, also die bisherigen Druck- und Streckbäume, verstärkt oder ihre Zahl durch Anbringung ähnlich verlaufender d. h. jetzt senkrechter, vermehrt werden müssen. Bei weiterer Durchführung dieser Operation resultirt hierbei schliesslich die Form der hohlen Säule oder Röhre, welche also auf dem Querschnitt nur noch einen starken Ring von Material zeigen, der höchstens von Zeit zu Zeit durch Füllungsglieder unterstützt wird (vergl. die Diaphysen der Extremitäten der Röhrenknochen).

Sehen wir uns jetzt die menschliche Wirbelsäule daraufhin näher an, so haben wir allerdings noch deutlich erkennbar die Fachwerksconstruction, wir haben aber ausserdem, abweichend vom Vierfüsser das allmälige Breiter- und Dickerwerden derselben von oben nach unten und schliesslich haben wir eine beträchtliche Verstärkung der parallel den Streckbäumen, beim Vierfüsser also horizontal, beim Mensch vertikal verlaufenden, sammt den zu ihrer Stütze dienenden, rechtwinklig sie verbindenden Balken. Ein eigentliches Neuauftreten von Elementen, eine wirkliche Constructionsänderung beim Aufrichten der Wirbelsäule ist also nicht vorhanden, es ist dies eben beim Fachwerk nicht erforderlich. Der Hauptunterschied zwischen beiden Arten von Wirbelsäulen besteht demnach darin, dass die menschliche sich der Dreiecksconstruction nähert, also ein allmäliges Stärkerwerden von oben nach unten zeigt: es werden demnach die einzelnen Wirbel von oben nach unten zu sich stärker ausbilden, wie dies ja bekanntlich im Allgemeinen der Fall ist. Eine Ausnahme von diesem Gesetz werden wir unten näher besprechen. Beim Thier haben wir das Stärkerwerden von dem Inclinationspunct nach beiden Seiten hin, nach der vorderen und hinteren Extremität zu, es ergibt sich also hier eine Uebereinstimmung zwischen Vierfüsser und Mensch in dem hinteren (unteren) Abschnitt der Wirbelsäule, während sich die Grössenverhältnisse im vorderen (oberen) Theile derselben im Allgemeinen entgegengesetzt verhalten. Wäre die menschliche Wirbelsäule ein starres Ganze, so würden wir dieselbe in Form einer wirklichen Säule, Röhre oder eines Pfeilers gebaut sehen, wir würden dann oben ein Capitäl zur Aufnahme des Druckes haben, — unten am Kreuzbein würden sich die Verhältnisse nicht wesentlich ändern,

also auch hier eine Verbreiterung zur Mittheilung des Druckes an das Becken. So haben wir aber viele über einander stehende kleine Säulchen, welche im Verhältniss zu ihrer Dicke zu niedrig sind, um die Bildung eines röhrenförmig gebauten Mittelstückes zuzulassen, welche also fast nur aus oberem und unterem „Ansatzstück" bestehen, während das röhrenförmige Mittelstück nur durch die schwache Verjüngung des Querschnitts in der Mitte des Wirbels angedeutet ist. Es kommt sonach im Wirbelkörper auch so gut wie gar nicht zur Bildung einer „Compacta"; — eine Andeutung derselben ist in der Mitte des vorderen Randes der Sagittalschnitte (Tafel I und II) bemerkbar.

Wirbelende der Rippe.

Abgesehen von sonstigen accessorischen Einflüssen auf Gestalt und Verlauf der Knochenbälkchen und der Form des Wirbels ist hier noch eine Bemerkung über den Einfluss, welchen die Rippen ausüben, am Platze. Der Thorax, welcher beim Vierfüsser bekanntlich einen grösseren Theil der Eingeweide theils direct, theils indirect (Bauchmuskulatur) trägt, vermittelt seinerseits die Uebertragung dieses Zuges auf die Brustwirbelsäule durch die Rippen. Das zunächst an den Brustwirbeln hängende Quantum von Last wird durch die Vertheilung auf eine grosse Anzahl von Rippen für jede einzelne derselben, also auch für jeden Wirbel sehr gering. Jede Rippe eines Carnivoren z. B. hat, eine gleichmässige Vertheilung vorausgesetzt, nur den 26. Theil, jeder Brustwirbel nur den 13. Theil der betreffenden Last direct zu tragen. Der Einfluss dieses Zuges auf den einzelnen Brustwirbel ist daher auch im Allgemeinen gering, er ist relativ bedeutender bei Vierfüssern als bei Menschen, da bei ersteren die Last senkrecht unter dem Angriffspunkt liegt, während beim Menschen in Folge des schrägen Angreifens des Zuges ausser dem zur Wirbelaxe senkrechten Zuge, wie er beim Thier vorhanden ist, auch noch ein Druck der höher auf die niedriger gelegenen Wirbel stattfindet. Es nähert sich also beim Menschen die Richtung des Rippenzuges an die innerhalb der Wirbelsäule gelegene Drucklinie, in der die Last des Kopfes und der über dem betreffenden Puncte statisch wirksamen Theile des Rumpfes (mit oberen Extremitäten) drücken — während diese beiden Richtungen beim Vierfüsser ungefähr senkrecht zu einander stehen.

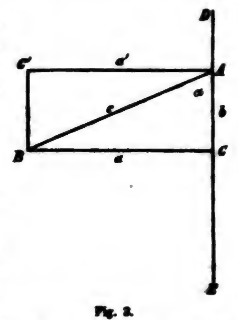


Fig. 3.

In Fig. 3 stelle die Linie AB (c) die Grösse und Richtung des durch das Gewicht der Eingeweide vermittelst der Rippen an den Wirbeln ausgeübten Zuges dar, DE sei die Richtung der Wirbelsäule. Der Winkel α, den AB und AE bilden, ist also bekannt (derselbe variirt bekanntlich sowohl nach den einzelnen Rippen, als nach Geschlecht und Lebensalter). Um nun c in zwei Componenten zu zerlegen, deren eine in der Richtung DE, die andere senkrecht dazu in A stehen soll,



construiren wir das Parallelogramm der Kräfte (in diesem Falle ein Rechteck), indem wir in A eine Senkrechte errichten, die von einer zu DE parallelen, durch B gehenden, Linie in C_1 geschnitten wird, während die vierte Seite durch eine Parallele zu CA, BC (a) gebildet wird. AC_1 (a_1) ist dann die eine, AC (b) die andere der gesuchten Componenten.

Die Berechnung von a_1 und b aus den gegebenen Grössen c und $\sphericalangle \alpha$ ist gleichfalls sehr einfach. $\sphericalangle C$ ist nach Construction = R, folglich $a_1 = a = c. \sin \alpha$ und $b = c. \cos \alpha$.

Beim Thier ist nun $\sphericalangle \alpha$ ppt. = R, folglich $\sin \alpha = 1$, also in diesem Falle $c. \sin \alpha = c$, und $a = c$.

Da ferner $\cos R = 0$, ist dann $\cos \alpha = 0$ und $b = 0$.

Ist $\sphericalangle \alpha = 60^\circ$, so wird, da $\cos 60^\circ = {}^1/_2$, $b = c. 0{,}5$ und $a = c. 0{,}866025$.

Ist $\sphericalangle \alpha = 45$, so wird $a = b = c \sqrt{{}^1/_2} = c. 0{,}707107$.

Für die einzelnen Rippen des Menschen liegt der Werth von $\sphericalangle \alpha$ ungefähr zwischen diesen beiden Grenzen, 60°—45°, genauer 58°—46° für 1.—7. Rippe. (Meyer l. c. S. 260 und 262.)

Auf Horizontal- und Frontalschnitten vom Ochsen sieht man zwar deutlich, aber schwach, die von der Rippengelenkfläche kommenden Knochenbälkchen, welche sich nach allen Seiten hin im Knochen vertheilen — und diese allseitige Vertheilung eben bewirkt es, dass man auf jedem einzelnen der Schnitte wenig charakteristische Züge sieht. Sehr bemerkenswerth ist die Ausbildung und der feinere Bau des proc. transversus der Brustwirbel, sowie die Anordnung der Kochenbälkchen im oberen Ende der Rippen.

Die Rippe des Vierfüssers ist, statisch betrachtet, also abgesehen von den Bewegungen bei der Respiration, ein einarmiger Hebel, dessen fester Punct sich im capitulum befindet und an dem die Last der Eingeweide nach unten zieht, während die nach oben wirkende Kraft durch den proc. transversus und die denselben mit dem tuberculum costae verbindenden straffen Bänder dargestellt wird. Da jedoch der proc. transversus fest ist und das tuberculum gleichfalls wenig beweglich demselben anliegt, so wird bei starkem Zuge an dem Sternalende das capitulum gegen seine Wirbelgelenkfläche gepresst, die Rippe ist also dann ein zweiarmiger Hebel, dessen langen Hebelarm das Stück vom tuberculum bis zum Sternalende, dessen kurzen das Stück vom tuberculum bis capitulum (collum) repräsentirt. Unterstützungspunct ist dann die Spitze des proc. transversus — und es wird ja gleichgültig sein, ob der Drehpunct des Hebels von oben durch Bänder gehalten oder von unten unterstützt wird. Bei einer Bewegung der Rippe nach aussen oder oben würden wir gleichfalls dieselbe als zweiarmigen Hebel aufzufassen haben, nur würden die Vorzeichen der Kräfte sich dann umdrehen, der proc. transversus würde gepresst, das capitulum aus der Gelenkfläche herausgehoben werden.

Bleiben wir bei der ersten Eventualität stehen: die Rippe wirkt als einarmiger Hebel — dann drückt also das capitulum gegen seine Gelenkfläche, das tuberculum zieht am proc. transversus. — Da es nun statisch, also auch für die Bildung der Knochenbälkchen gleich-

gültig ist, ob das capitulum auf seine Pfanne, oder diese auf jenes presst — ferner ob das tuberculum am proc. transversus oder dieser an jenem zieht, so wird sich hier ein ähnliches Verhältniss ergeben müssen, wie am femur, wo das capitulum von Seiten der Pfanne gepresst, am trochanter durch die Muskeln gezogen wird. Der Verlauf der Knochenbälkchen im oberen Rippenende müsste also demjenigen im obern Femurende entsprechen, wir müssten auch am oberen Rippenende die einer Krahnenconstruction entsprechende Anordnung der Spongiosa finden und dies ist, wie eine Vergleichung der Fig. 39—41, Taf. II mit den bekannten Bildern vom femur zeigt, wirklich der Fall.

Für die menschliche Rippe liegen die Sachen etwas anders. Dieselbe hat relativ weniger, als die eines Vierfüssers zu tragen, vor Allem deshalb, weil beim Menschen die Eingeweide nur zu sehr geringem Theile durch Vermittelung der Rippen aufgehängt sind, sondern theilweise direct an der Wirbelsäule ziehen, theilweise auf dem Becken aufliegen. Dadurch wird also einmal die auf die einzelne Rippe einwirkende Belastung weit geringer und ferner, wie wir oben sahen, die Richtung der Rippen eine andere. In Folge dessen wird der beim Vierfüsser einem rechten nahe kommende Winkel zwischen collum und übrigem Theil der Rippe erheblich gestreckt, so dass derselbe beim Menschen gegen 150° beträgt. Die Anordnung der Knochenbälkchen in der menschlichen Rippe ist in Folge dessen auch eine etwas andere: die von der Gelenkfläche des capitulum kommenden Bälkchen gehen sehr bald an die viscerale Seite der Rippe, während vom lateralen Rande bogenförmig (ähnlich wieder denjenigen im proc. transversus) nach dem visceralen verlaufende sie rechtwinklig durchkreuzen. Ein Theil der letzteren erreicht das capitulum nicht mehr, sondern endet schon im collum an der Innenfläche. Denselben entsprechend und sie rechtwinklig kreuzend gehen dann wieder Bälkchen, allerdings fast geradlinig meist schräg von der visceralen zur Aussenfläche, einige stärkere Pfosten halten rechtwinklig auf beiden Flächen stehend dieselben auseinander, so besonders in der Gegend des tuberculum.

Es erübrigt noch der Art und Weise zu gedenken, wie der in der Wirbelsäule, speciell dem fünften Lendenwirbel repräsentirte Druck des über dem Becken gelegenen Theiles des Körpers (beim Erwachsenen ca. 40 Kilogramm) auf das Becken übertragen wird. Es ist vorauszusetzen, dass von dem Augenblicke an, wo das Knochengerüst, welches innerhalb der Wirbelsäule unpaar in der Mittellinie des Körpers gelegen ist, paarig wird, die in dem unpaaren Stück wirkenden Kräfte sich bei dem Uebergange in das paarige und symmetrisch gebaute Becken in zwei Theile, und zwar in zwei gleiche Theile zerlegen werden. Diese Zerlegung in zwei gleiche Hälften geht jedoch nicht in der Weise vor sich, dass der auf der linken Hälfte der Wirbelsäule, speciell des letzten Lendenwirbels wirkende Druck auf das linke os ilium u. s. w. übertragen würde, sondern es geht, wie wir dies oben auch schon am Wirbel sahen, eine partielle Kreuzung vor sich. Dieser theilweise Austausch von einer Seite zur andern findet nun nicht allein im eigentlichen Körper des Kreuzbeines statt, sondern auch von den proc. obliqui aus, welche relativ stark entwickelt sind, da sie in Folge der

eigenthümlichen Configuration des fünften Lendenwirbels einen sehr grossen Theil des durch den proc. obliquus inf. desselben übertragenen Druckes aufzunehmen haben. —

Der Winkel, unter dem die beiderseitigen Hauptmassen der Knochenbälkchen nach rechts und links divergiren, ist ein ziemlich grosser. Das Ganze erinnert an die Construction eines einfachen Hängewerks oder einfachen Dachstuhls; den Streckbaum stellen einerseits die horizontal verlaufenden Knochenbälkchen, dann die bekanntlich ausserordentlich straffen lig. sacro-iliaca vaga ant. u. post., sowie Theile des lig. ileo-lumbale dar und drittens müssen wir, wenn wir noch weiter, bis zu den Hüftpfannen gehen, den das Becken vorn abschliessenden Knochenring mit seinen straffen Bandapparaten, lig. arcuatum pubis (inf.) und lig. transversum pelvis (triangulare) gleichfalls als Streckbäume in Anspruch nehmen. — Eine weitere Ausführung dieser Puncte gehört nicht hierher, und verweise ich auf Meyer's Darstellung vom „belasteten Becken" l. c. S. 280 ff. Die statische Bedeutung der pars perinealis des Kreuzbeins (dessen vierter und fünfter Wirbel) und des os coccygis ist eine sehr geringe im Verhältniss zu dem oberen Theile des sacrum, der pars pelvina. Mit der eben betrachteten Uebertragung des Druckes von der Wirbelsäule in's Becken hat jene Knochenpartie jedenfalls nichts zu thun und verdankt dieselbe ihr, allerdings stark reducirtes, Fortbestehen beim Menschen mehr accessorischen Einwirkungen, Bänder- und Muskelzug, s. Meyer's Bemerkung über die lig. tuberoso- und spinoso-sacra l. c. S. 286.

Zwischenwirbelscheiben.

Es ist experimentell nachgewiesen (Meyer, l. c. S. 212), dass die Bewegungen (Beugungen, Drehungen) der Wirbel um eine ungefähr durch die Mitte des Wirbelkörpers, also auch der Bandscheibe gehende Linie geschehen. In dieser neutralen Axe finden also keine Spannungen (Zerrungen) oder Pressungen statt, während an den Bandscheiben bei allen Bewegungen der Wirbel die eine Hälfte ihres Umfanges und je weiter nach der Peripherie, desto stärker, immer gespannt, gedehnt, die andere gleichzeitig comprimirt wird. Dieser Umstand ist vielleicht schon allein genügend, den eigenthümlichen Bau der Scheiben zu erklären, wenn, wie ich allerdings annehme, richtig ist, was His, (Die Häute und Höhlen des Körpers. Basel 1865 S. 27) sagt: „wo eine Bindegewebsschicht anhaltenden, oder oft wiederholten, gleichgerichteten Druck erfährt, da bildet sich eine fibröse, mehr oder minder dicke Platte von geschichtetem Bau, mit einer in der Regel gekreuzten Faserung, deren Fasern in Ebenen verlaufen, welche senkrecht zur Druckrichtung stehen. Unter besonderen Bedingungen entstehen statt der fibrösen, elastische Platten oder Faserlagen, mit einer ebenfalls zur Druckdirection senkrechten Schichtung." Es ist aber jedenfalls interessant, sich von der Uebereinstimmung zu überzeugen, welche der Bau der Bandscheibe mit der Anordnung der auf den Wirbelkörperflächen endenden Knochenbälkchen zeigt. Der Bau der Scheibe präsentirt sich nämlich auf verticalem Durchschnitt in vorzugsweise schräg, den Fachwerksstreben ähnlich verlaufenden Fasern. Wir haben ferner gesehen, wie gerade am Rande des Wirbels relativ zahlreiche Knochenbälkchen

enden, wie gerade der Rand statisch am stärksten beansprucht und in Folge dessen hervorgetrieben ist: dieselben mechanischen Einflüsse nun, welche dies am Knochen hervorbringen, wirken jedenfalls auch an den zwischen den betreffenden Knochenstellen liegenden Bandscheiben, — also vorzüglich an den Rändern derselben. Die Natur hat also auch hier den alten Grundsatz der Baukunst bei derartigen Constructionen practisch ausgeführt: „Material aus der Mitte!"

Wir haben also in den Zwischenwirbelscheiben, in Folge der Bewegungen der Wirbelsäule in sich, unverknöchert gebliebene Stücke derselben. Wir sehen deshalb dieselben dort, wo die Wirbelsäule die meisten Bewegungen, Biegungen, Drehungen ausführt, am stärksten entwickelt im Vergleich zur Höhe der Wirbel — dies gilt sowohl für die einzelnen Theile der menschlichen Wirbelsäule*), wie für die ganze Wirbelthierreihe.

Gewichtsverhältnisse der menschlichen Wirbel.

Bei genauer Wägung der einzelnen Wirbel vom Menschen erhielt ich ein höchst merkwürdiges, soweit meine Nachforschungen in der Literatur reichten, bisher unbekanntes Resultat. Ich fand nämlich, dass das Gewicht, also auch das Volumen der Wirbel beim Menschen von oben nach unten nicht, wie allgemein angenommen wird, und wie es die S. 26 entwickelten statischen Verhältnisse fordern, andauernd zunimmt, sondern dass es zwei Ausnahmen von diesem im allgemeinen allerdings gültigen Gesetze gibt. Die eine Ausnahme machen die oberen Brustwirbel, die andere die unteren Lendenwirbel. Ich habe die sämmtlichen auf der anatomischen Anstalt zu Jena befindlichen und (mit einer einzigen Ausnahme) vollständig fehlerfreien trockenen Wirbelsäulen sorgfältigst gewogen und gelangte zu folgenden Resultaten, welche ich in der umseitigen Tabelle wiedergebe.

Dass der transversale (frontale) Durchmesser des Körpers bei den oberen Brustwirbeln, manchmal mehr, manchmal weniger stark abnehme, war ja bekannt, (s. Aeby, Bau des menschlichen Körpers. S. 130, Fig. 53) wir sehen aber hier, dass bei allen untersuchten Wirbelsäulen das Gewicht der ganzen Wirbel abnimmt und zwar bei fünf derselben (I, III—VI) bereits vom ersten zum zweiten Brustwirbel, bei allen sieben vom zweiten zum dritten, und bei zweien (I und II) auch noch vom dritten zum vierten. Diese letzteren beiden Exemplare

---

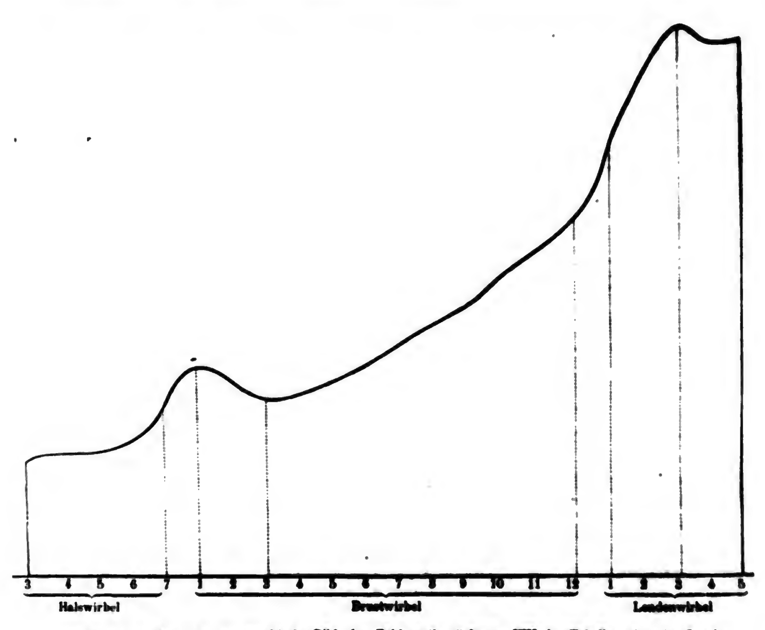
*) Vergl. E. H. Weber, anatomisch-physiologische Untersuchung über einige Einrichtungen im Mechanismus der menschlichen Wirbelsäule, in Meckel's Archiv 1827.

		I	a	II	b	III	c	IV	d	V	e	VI	f	VII	g	VIII	h
Halswirbel	3	6,8		7,9		6,4		6,9		5,2		4,9		3,8		7,00	
	4	7,1	0,3	8,2	0,3	6,9	0,5	7,3	0,4	5,7	0,5	4,95	0,05	4,1	0,3	7,38	0,38
	5	7,3	0,2	8,4	0,2	6,7	−0,2	7,4	0,1	6,2	0,5	5,0	0,05	4,5	0,4	7,45	0,07
	6	7,7	0,4	9,1	0,7	7,2	0,5	8,0	0,6	6,6	0,4	5,6	0,6	4,4	0,1	8,00	0,55
	7	11,9	4,2	9,5	0,4	9,2	2,0	9,1	1,1	8,5	1,9	7,1	1,5	5,4	1,0	9,92	1,92
Brustwirbel	1	15,2	3,3	11,8	2,3	12,5	3,3	11,2	2,1	10,0	1,5	7,8	0,7	6,5	1,1	12,68	2,76
	2	14,3	−0,9	11,9	0,1	10,95	−1,55	9,9	1,3	8,2	−1,8	7,6	−0,2	6,55	0,05	11,76	0,92
	3	12,5	−1,8	10,2	−1,7	10,3	−0,65	9,7	−0,2	7,7	−0,5	7,2	−0,4	6,4	−0,15	10,68	1,08
	4	12,2	−0,3	10,1	−0,1	10,9	0,6	10,6	0,9	7,9	0,2	7,5	0,3	6,45	0,05	10,95	0,27
	5	13,1	0,9	11,1	1,0	11,4	0,5	11,5	0,9	8,1	0,2	8,0	0,5	6,6	0,15	11,78	0,83
	6	14,8	1,7	12,0	0,9	12,6	1,2	11,8	0,3	9,2	1,1	8,4	0,4	7,4	0,8	12,80	1,02
	7	16,6	1,8	13,1	1,1	13,75	1,15	13,2	1,4	9,8	0,6	9,0	0,6	7,7	0,3	14,16	1,36
	8	18,8	2,2	14,8	1,7	14,2	0,45	13,8	0,6	10,1	0,3	10,1	1,1	8,0	0,3	15,40	1,24
	9	19,2	0,4	15,9	1,1	15,6	1,4	14,5	0,7	11,1	1,0	11,4	1,3	8,5	0,5	16,30	0,90
	10	22,7	3,5	17,1	1,2	17,5	1,9	15,7	1,2	13,0	1,9	11,8	0,4	9,7	1,2	18,25	1,95
	11	24,3	1,6	18,6	1,5	18,4	0,9	17,7	2,0	12,2	−0,8	13,2	1,4	10,5	0,8	19,75	1,50
	12	26,6	2,3	20,2	1,6	19,7	1,3	19,2	1,5	15,3	3,1	14,0	0,8	10,4	−0,1	21,43	1,68
Lendenwirbel	1	29,9	3,3	26,0	5,8	27,5	7,8	22,3	3,1	17,6	2,3	16,9	2,9	12,3	1,9	26,43	5,00
	2	35,3	5,4	31,2	5,2	29,3	1,8	24,7	2,4	19,0	1,4	17,6	0,7	13,9	1,6	30,13	3,70
	3	36,7	1,4	34,1	2,9	32,7	3,4	28,5	3,8	21,6	2,6	20,7	3,1	15,0	1,1	33,00	2,87
	4	34,4	−2,3	33,1	−1,0	32,3	−0,4	28,9	0,4	22,0	0,4	20,9	0,2	15,4	0,4	32,18	−0,82
	5	34,2	−0,2	35,8	2,7	31,9	−0,4	27,5	−1,4			21,2	0,2	16,0	0,6	32,35	0,17

Die Tabelle enthält in den Columnen I—VII die in Grammen angegebenen Gewichtszahlen der von mir gewogenen Wirbel von sieben Wirbelsäulen. Atlas und Epistropheus sind fortgelassen, da sie bekanntlich abnorme Verhältnisse darbieten. — In den Columnen a—g ist die an den betreffenden Wirbelsäulen I—VII von einem Wirbel zum nächstfolgenden stattfindende Gewichtszunahme ohne Vorzeichen, die Abnahme mit —Zeichen angegeben. Die Exemplare I—V stammen von erwachsenen Individuen, V ist weiblich (der letzte Lendenwirbel fehlte), VI und VII sind jugendlich. — Columne VIII enthält die aus den Exemplaren I—IV gewonnenen Durchschnittszahlen, h die betreffenden Differenzen.



waren überhaupt die am stärksten entwickelten, wie ein Blick auf die betreffenden Gewichtszahlen lehrt. — Bei Wirbelsäule V und VII findet sich dann noch einmal, dort zwischen zehntem und elftem, hier zwischen elftem und zwölftem Brustwirbel eine kleine Abnahme, — ein, wie es scheint, unwesentlicher Umstand. Die bei allen sieben Wirbelsäulen gefundene Gewichts-Abnahme jedoch der



Die Curve Fig. 4 ist das graphische Bild der Zahlenreihe Columne VIII der Tabelle, also des Durchschnitts aus vier fehlerfreien, gut entwickelten Wirbelsäulen. Die Zahlen an der Abscissenlinie bedeuten den betreffenden Wirbel, vom dritten Hals- bis fünften Lendenwirbel, sie stehen in Distanzen von 0,75 cm. — Die Gewichtszahlen sind auf den betreffenden die Wirbel markirenden Puncten als Ordinaten aufgetragen und zwar wählte ich aus Zweckmässigkeitsgründen den Maasstab von 0,375 cm. = 1 grm. In Folge dieses Verhältnisses zeigt die Curve, wie es die Absicht war, die Zu- und Abnahme des Gewichts unverhältnissmässig stark. Die Curve entspricht ungefähr (abgesehen von den Excrescenzen) einem Kreisabschnitt mit 27,5 . 0,75 cm. = 20,6 cm. Radius.

oberen Brust-Wirbel kann unmöglich zufälliger Natur sein; ich bemerke allerdings ausdrücklich, dass ich zwar nur sieben Wirbelsäulen, eine relativ kleine Anzahl, gewogen habe, dass es aber nach aller mathematischen Wahrscheinlichkeit anzunehmen ist, dass, wenn bei sieben zufällig ausgewählten Gegenständen durchgehends dasselbe Resultat gefunden wird, dies als ein allgemein gültiges anzunehmen ist. Auf den möglicherweise zu machenden Einwand, die Gewichtsabnahme basire auf statisch unwesentlicheren Factoren, etwa den proc. spinosi, bemerke ich, dass die proc. spinosi des zweiten und dritten Brustwirbels, wenn nicht länger, so doch ebenso lang und ebenso stark sind, wie die des ersten.

Ziemann („Comparatio columnae vertebralis hominis cum eadem parte sceleti mammalium" etc. Diss. inaug. Hal. 1848.) gibt S. 10 eine Tabelle, welche, allerdings nicht mit genügender Genauigkeit ausgeführte, Wägungen von Wirbeln einer Wirbelsäule enthält, es wog

der 1. Brustwirbel		3½	Qtl.	5	Gr.
„ 2. „		3	„	18	„
„ 3. „		3	„	—	„
„ 4. „		3	„	—	„
„ 5. „		3	„		„
„ 3. Lendenwirbel	1 Lth.	3¾	„	—	„
„ 4. „	1 „	3	„	—	„
„ 5. „	1 „	2½	„	10	„

Es ist dies also ein dem meinigen analoges Resultat, nur hat Ziemann dasselbe für ein zufälliges gehalten, was man ihm, da er nur eine Wirbelsäule gewogen hat, kaum verdenken kann, er sagt S. 11: „Quodsi numeros ponderis quod efficiunt simplae hominis vertebrae consideravimus, verum esse apparebit, quod dixi, hominis vertebrarum ubi ab imo ad summum adspiciuntur et magnitudinem et pondus deminui. Apertum enim est, parvas varietates, quae hac in re reperiuntur, nihil huc valere."

Sollen wir nun diese merkwürdige Thatsache als Residuum der Configuration der Brustwirbelsäule des Vierfüssers aufzufassen haben oder sind wir im Stande, dieselbe mit den jetzt bestehenden statischen Verhältnissen der menschlichen Wirbelsäule in Einklang zu bringen? Bekanntlich nehmen, wie dies ja auch mechanisch nicht anders möglich, die Brustwirbel des Vierfüssers von vorn nach hinten bis zu dem „Inclinationspuncte" an Grösse ab und von da an erst bis zum letzten Lendenwirbel zu. Es wäre nun denkbar, dass sich bis zum heutigen Tage ein Residuum dieses Verhältnisses beim Menschen erhalten hätte. Ein zweite, rein mechanische Erklärung stützt sich auf den Umstand, dass der erste Brustwirbel, in Folge der Anlagerung der ersten Rippe, vorzugsweise die Last der oberen Extremitäten zu tragen hat. Die Art und Weise der Uebertragung der Last durch Schlüsselbein und oberes Sternumstück ist ja leicht zu constatiren; es ergibt sich nun bei näherer Betrachtung der anatomischen Verhältnisse, dass es fast nur die erste Rippe und der erste Brustwirbel sind, welche dem Zuge der ca. ⅙ des Körpergewichts (also bei Erwachsenen 10—12 Kilogr.) betragenden Last der oberen Extremitäten direct zu widerstehen haben. Selbstverständlich setzt sich dieser Druck in die folgenden Wirbel fort, theils durch directe Mittheilung von Wirbel zu Wirbel, theils wol durch Vermittelung des Sternum und der Rippen. Erst eine specielle Untersuchung darüber,

wie viel von dem Gewicht auf die proc. spinosi der Hals- und oberen Brustwirbel (oberer Theil des cucullaris, rhomboidei), sowie der proc. transversi der Halswirbel (scaleni, levator scapulae) abzurechnen wäre, würde die genaue Bestimmung der hier in Rede stehenden Lastgrösse ermöglichen. Die von mir nach den Durchschnittszahlen der Columne VIII construirte Curve Seite 33 lässt noch deutlicher als die Zahlenreihe erkennen, dass wir es hier mit einer zweiten, auf die im Uebrigen mit regelmässiger Krümmung verlaufende Linie aufgesetzten Curve zu thun haben, die sich vom siebenten Hals- bis dritten Brustwirbel erstreckt, und den auf diesen Wirbel ausgeübten Zug seitens der oberen Extremitäten repräsentirt.

Der unverhältnissmässig in die Breite gezogene Körper der oberen und ganz besonders des ersten Brustwirbels, sowie die Ausdehnung der betreffenden proc. transversi geben dieser Erklärung noch mehr Wahrscheinlichkeit. Auch zeigen bei näherer Vergleichung meine Curve und Aeby's (l. c, S. 130, Fig. 53) Curve des transversalen Durchmessers der Wirbelkörper bedeutende Aehnlichkeit. — Der zweite und dritte Brustwirbel sind also zwar kleiner als der erste, überschreiten jedoch das ihnen bei regelmässiger Gewichtszunahme zukommende Quantum noch um einiges, wie ein Blick auf die Curve lehrt. Das Wesentliche nun an dieser ganzen Erscheinung ist das unverhältnissmässig starke Anwachsen des ersten Brustwirbels, gegen den gehalten der zweite und dritte dann relativ schwächer erscheinen, während auch diese, in allerdings vom ersten zum dritten rasch abnehmenden Masse, das ihnen bei regelmässiger Zunahme gebührende Gewicht noch überschreiten.

Die Frage, ob man berechtigt sei, den Umstand, dass die jugendlichen Wirbelsäulen (s. Col. VI und VII der Tabelle) dies Verhalten in einem auch relativ weit geringeren Masse zeigen, für die zweite rein mechanische Erklärung ins Feuer zu führen, möchte ich mit: „ja“ beantworten.

Ferner könnte man das Anschwellen des Rückenmarks an der Abgangsstelle der Armnerven, zur Erklärung herbeiziehen: die stärkere Entwicklung von Nervensubstanz an dieser Stelle hätte dann eine Erweiterung des knöchernen Ringes und besonders die stärkere Ausdehnung in die Breite zur Folge gehabt. Auch in diesem Falle hätten wir dann als Ursache die Existenz der oberen Extremitäten constatirt, ihr Einfluss wäre allerdings nur ein indirecter. Absolut von der Hand zu weisen ist keine der eben gegebenen drei Erklärungen, für sich ausreichend aber vielleicht ebensowenig — und, so glaube ich, dürfte man die eine mit der andern combiniren: das Thier hat vordere Extremitäten, der Mensch hat sie überkommen, als obere in wesentlich gleicher Form behalten und nur weiter ausgebildet, das Grössenverhältniss der Brustwirbel dagegen hat den veränderten statischen Einwirkungen weichen müssen, soweit nicht der direct-mechanische und indirecte (Nerven) Einfluss der oberen Extremitäten dem hindernd entgegentrat, dies geschah an den obersten Brustwirbeln. — Werthvollen Aufschluss über diese eben angedeuteten Puncte könnte der Befund an einem ohne

Arme geborenen, vielleicht auch an einem während des Lebens beider oder einer oberen Extremität beraubten Individuum geben — ich hatte bisher noch keine Gelegenheit zu einer so seltenen Beobachtung. Indem ich schliesslich hiermit zu recht zahlreichen Wägungen von Wirbeln auffordere, bemerke ich noch, dass, falls sich wirklich Ausnahmen von dem von mir hingestellten Satze: „Das Gewicht der obersten drei Brustwirbel des erwachsenen Menschen nimmt von oben nach unten, und zwar ungefähr im Verhältniss von 13 : 12 : 11 ab" — herausstellen sollten, diese für die erste Erklärung sprechen würden. Denn, ist es nur der Einfluss des Gewichts der oberen Extremitäten, der diese Erscheinung verursacht, so muss er sich überall finden, läge dagegen ein ererbtes Verhältniss vor, so wäre es, wie in vielen anderen Gebieten, sehr möglich, dass einzelne Individuen mehr, andere weniger oder nichts davon zeigen (ich erinnere hier nur an die so enorm verschiedene Stärke der Behaarung des Körpers, sowie das Auftreten des sogenannten Weisheitszahnes).

Die zweite auffallende Erscheinung, dass nämlich bei drei der am kräftigsten entwickelten Wirbelsäulen, sowie im Durchschnitt, vom dritten bis fünften Lendenwirbel eine Gewichtsabnahme Statt hat, scheint mir auf der verschieden starken Entwicklung der proc. transversi der Lendenwirbel zu beruhen — wenigstens war bei den Exemplaren I, III, IV der proc. transversus des dritten Lendenwirbels auffallend stark ausgebildet. Bei Vierfüssern ist ein ähnliches Verhältniss leicht zu constatiren. Es wurde bereits S. 25 bemerkt, dass eine, die Enden der proc. transversi verbindende Linie bei Vierfüssern einen nach aussen convexen Bogen beschreibt, dessen grösste Elevation an einer dem zweit- bis dritt-letzten Lendenwirbel entsprechenden Stelle sich befindet. Wie es scheint, haben wir es hier nur mit der in Folge starker Muskelansätze relativ kräftigen Entwicklung des proc. transversus zu thun; wenigstens ergeben die Dimensionen der Körper keine wesentlichen Differenzen zwischen dem zweiten, dritten und vierten Lendenwirbel, dagegen zeigt sich, wie bekannt, der Körper des fünften Lendenwirbels keilförmig nach hinten verjüngt.

Allgemein bemerke ich noch, dass ich durchaus nicht verkenne, dass die von mir eingeschlagene Methode der Wägung der ganzen Wirbel eine unvollkommene ist. Sollte man aber, abgesehen von äusserlichen Schwierigkeiten, etwa die Wirbelkörper absägen? Erstens könnte man leicht dem einen Wirbel mehr, dem andern weniger nehmen — und zweitens haben, wie wir oben wiederholt gesehen haben, die proc. obliqui gleichfalls ihre sehr wesentliche Bedeutung. Es hätte sich also nur darum handeln können, die proc. spinosi, eventuell auch, wenigstens bei Hals- und Lendenwirbeln, die proc. transversi abzusägen, natürlich wieder mit dem erwähnten Risiko der Ungleichmässigkeit. — Auch würde vielleicht eine Volumenmessung eines so hergerichteten Wirbels in Wasser oder Quecksilber, natürlich nach Ueberziehung mit einem impermeablen Stoffe, wenn nicht sicherere, so doch Controllresultate ergeben. —

Die Vornahme einer grossen Masse von Wägungen, zu der ich bereits oben aufforderte, scheint mir schliesslich doch das geeignetste Mittel, um ein sicheres definitives Resultat zu erhalten, die grosse Zahl würde dann die bei einer relativ so unvollkommenen Methode möglichen Fehler eliminiren.

Noch nicht abgeschlossene Untersuchungen über den Verlauf der Knochenbälkchen im foetalen und jugendlichen Wirbel von Mensch und Thier, sowie bei pathologischen Verhältnissen, — ferner über die Wirbelsäulenkrümmungen vor und bald nach der Geburt, — Untersuchungen, welche sehr interessante Blicke in das bisher nur wenig aufgehellte Gebiet des Verhältnisses von „Vererbung“ und „Anpassung“ zu werfen gestatten, gedenke ich später zu veröffentlichen.

Zu den Tafeln.

Tafel I.

Fig. 1—13. (und 14—22 auf Taf. II) Sagittalschnitte durch den Bogenhals vom dritten Halswirbel an abwärts (Mensch). Fig. 8, 9, 11 besonders deutlich.
„ 23. Frontalschnitt des Epistropheus vom Menschen.
„ 24. Frontalschnitt eines Halswirbels vom Menschen.
„ 25. Frontalschnitt eines Brustwirbels vom Menschen.
„ 26. Frontalschnitt eines Lendenwirbels vom Menschen.
„ 27. Horizontalschnitt vom Brustwirbel des Menschen.
„ 28. Frontalschnitt vom Brustwirbel des Ochsen.
„ 29. Horizontalschnitt vom Lendenwirbel eines zwölfwöchentlichen Kindes.
„ 30. Mediansagittalschnitt vom Lendenwirbel eines zwölfwöchentlichen Kindes.
„ 31. Sagittalschnitt durch den Bogenhals vom Lendenwirbel des Ochsen.
„ 32. Sagittalschnitt durch den Bogenhals vom Lendenwirbel des Hundes.
„ 33. Sagittalschnitt eines Wirbels von Thynnus vulgaris.
„ 34. Sagittalschnitt durch den Bogenhals vom Brustwirbel des Ochsen.

Tafel II.

„ 14—22. Fortsetzung von Fig. 1—13 Taf. I. (Neunter Brustwirbel bis fünfter Lendenwirbel). Besonders deutlich 17, 21, 22; letzterer absichtlich sehr schräg geschnitten.
„ 35. Sagittalschnitt durch den Bogenhals vom Lendenwirbel des Ochsen, vgl. Fig. 31.
„ 36. Horizontalschnitt vom Kreuzbein des Menschen in der Höhe des proc. obliquus, rechte Hälfte. Links: facies auricularis, unten: vordere Fläche, die Ziffer steht an der Medianlinie.

Fig. 37. Horizontalschnitt des menschlichen Kreuzbeins, einige Centimeter tiefer als Fig. 36 gelegt, — Partie in der Nähe der facies auricularis, deren Durchschnitt nach unten zu liegt.

„ 38. Mediansagittalschnitt des menschlichen Kreuzbeins; erster und zweiter Kreuzbeinwirbel. Links: vorn.

„ 39. Frontalschnitt vom Wirbelende der Rippe des Ochsen.

„ 40 u. 41. Schräghorizontalschnitte vom Wirbelende der Rippe des Menschen.

Tafel III.

„ 42—44. Frontalschnitte vom menschlichen Kreuzbein:

„ 42. In der Nähe der vorderen Fläche.

„ 43. Ziemlich in der Mitte zwischen vorderer und hinterer Kreuzbeinfläche.

„ 44. Sehr dünner Schnitt des mittleren Theiles (erster und zweiter Wirbelkörper) eines sehr schön und zart entwickelten Exemplars.

„ 45. Sagittalschnitt vom Kreuzbein des Ochsen nahe der Medianebene. Links: untere Fläche, die Zahl steht an der vorderen Fläche.

„ 46 u. 47. Schräge Horizontalschnitte vom Kreuzbein des Ochsen, vorderer Theil. Die Zahlen stehen am vorderen Schnittrande, der unregelmässige Rand links ist facies auricularis, rechts erster Kreuzbeinwirbelkörper.

„ 48. Frontalschnitt vom Kreuzbein des Ochsen durch den Gelenkfortsatz. Links: untere Fläche, oben: facies auricularis, unten: Medianlinie.

Allgemeine Bemerkungen.

Die Schnitte Fig. 1—22 Taf. I und II sind mit der Kreissäge, alle übrigen aus freier Hand gesägt.

Sämmtliche Abbildungen sind in natürlicher Grösse von Herrn Photographen C. Bräunlich hierselbst aufgenommen.

Die eigenthümliche Anordnung der Tafeln I und II über einander ist gewählt, um ein möglichst getreues Bild einer sagittal durchschnittenen ganzen Wirbelsäule zu geben. — Soweit es technisch möglich war, sind die Schnitte 1—22 der natürlichen Krümmung der Wirbelsäule entsprechend angeordnet. —

